

UNIVERSITÉ DE BORDEAUX
FACULTÉ DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE

1931-1932. — N° 17

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE

DE LA

PHYSIOLOGIE DE L'OREILLE MOYENNE

THÈSE POUR LE DOCTORAT EN MÉDECINE

présentée et soutenue publiquement le Lundi 7 décembre 1931

PAR

Raymond-Fernand PHILIP

INTERNE DES HÔPITAUX (MÉDAILLE D'OR)

LAURÉAT DE LA FACULTÉ DE MÉDECINE

PRIX DE CHIRURGIE DE LA VILLE DE BORDEAUX, 1929

LAURÉAT DES HÔPITAUX

Né à BORDEAUX (Gironde), le 14 juin 1906.

Examineurs de la Thèse	{	MM. PORTMANN, professeur	<i>Président.</i>
		DUBREUIL, professeur	} <i>Juges.</i>
		LACOSTE, professeur	
		FABRE, agrégé	

BORDEAUX
IMPRIMERIE DE L'ACADÉMIE ET DES FACULTÉS
Y. CADORET
3, PLACE SAINT-CHRISTOLY, 3

1931



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548422_0059

UNIVERSITÉ DE BORDEAUX

FACULTÉ DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE

1931-1932. — N° 17

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE

DE LA

PHYSIOLOGIE DE L'OREILLE MOYENNE .

THÈSE POUR LE DOCTORAT EN MÉDECINE

présentée et soutenue publiquement le Lundi 7 décembre 1931

PAR

Raymond-Fernand PHILIP

INTERNE DES HÔPITAUX (MÉDAILLE D'OR)

LAURÉAT DE LA FACULTÉ DE MÉDECINE

PRIX DE CHIRURGIE DE LA VILLE DE BORDEAUX, 1929

LAURÉAT DES HÔPITAUX

Né à BORDEAUX (Gironde), le 14 juin 1906.

Examinateurs de la Thèse	{	MM. PORTMANN, professeur	<i>Président.</i>
		DUBREUIL, professeur	{ <i>Juges.</i>
		LACOSTE, professeur	
		FABRE, agrégé	

BORDEAUX

IMPRIMERIE DE L'ACADÉMIE ET DES FACULTÉS

Y. CADORET

3, PLACE SAINT-CHRISTOLY, 3

1931

FACULTÉ DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE DE BORDEAUX

M. SIGALAS..... Doyen.

PROFESSEURS HONORAIRES :

MM. POUSSE, MOURE, PRINCETEAU, W. DUBREUILH, RIVIÈRE,
BARTHE, LE DANTEC, DENIGÈS, AUCHÉ.

PROFESSEURS

	MM.		MM.
Clinique médicale.....	MAURIAC.	Zoologie et parasitologie.....	MANDOUL.
id.....	CASSAET.	Médecine expérimentale.....	DUPÉRIÉ.
Clinique chirurgicale.....	CHAVANNAZ.	Clinique ophtalmologique.....	TEULIÈRES.
id.....	BÉGOUIN.	Clinique chirurg. infantile et orthopédie..	ROCHER.
Pathologie et thérapeutiques générales...	GARLES.	Clinique gynécologique.....	GUYOT.
Clinique d'accouchements.....	ANDÉRODIAS.	Clinique méd. des maladies des enfants..	CRUCHET.
Anatomie pathol. et microscopie clinique.	SABRAZÈS.	Chimie biologique et médicale.....	DELAUNAY.
Anatomie.....	VILLEMIN.	Physique médicale et pharmaceutique....	SIGALAS.
Anatomie générale et histologie.....	G. DUBREUILH.	Médec. coloniale et clin. des mal. exotiques.	BONNIN.
Physiologie.....	PACHON.	Clinique des malad. cutanées et syphilitiques.	PETGES.
Hygiène.....	LEURET.	Clinique des maladies des voies urinaires.	DUVERGEY.
Médecine légale et déontologie.....	LANDE.	Clinique des malad. nerveuses et mentales.	ABADIE.
Electroradiologie et clin. d'électricité médic.	RÉCHOU.	Clinique d'oto-rhino-laryngologie.....	PORTMANN.
Chimie.....	CHELLE.	Toxicologie et hygiène appliquée.....	LABAT.
Botanique et matière médicale.....	BEILLE.	Hydrologie thérapeutique et climatologie..	SELLIER.
Pharmacie.....	DUPOUY.		

MM. MICHELEAU (Médecine générale). MURATET (Anatomie pathologique). GOLSE (Pharmacie).

LACOSTE (Histologie).

AGRÉGÉS EN EXERCICE :

	MM.		MM.
Anatomie.....	DUBECQ.	Chirurgie générale.....	PAPIN.
id.....	DUFOUR.	id.....	JEANNENEY.
Physiologie.....	FABRE.	id.....	CHARRIER.
Parasitologie et sciences naturelles.....	R. SIGALAS.	id.....	LOUBAT.
Médecine générale.....	CREYX.	Obstétrique.....	PERY.
id.....	AUBERTIN.	id.....	RIVIÈRE.
id.....	DAMADE.	Ophtalmologie.....	BEAUVIEUX.
id.....	PIÉCHAUD.	Dermatologie et syphiligraphie.....	JOULIA.
id.....	DELMAS-MARSALET.	Chimie générale pharmaceut. et toxicologie.	VITTE.
Maladies mentales.....	PERRENS.		

COURS COMPLÉMENTAIRES :

	MM.		MM.
Clinique dentaire.....	CAVALIÉ.	Puériculture.....	FAUGÈRE.
Médecine opératoire.....	PAPIN.	Démonstrations et préparations pharmac.	GOLSE.
Accouchements.....	RIVIÈRE.	Zoologie et parasitologie.....	R. SIGALAS.
Ophtalmologie.....	CABANNES.		

Orthopédie chez l'adulte, pour les accidentés du travail, les mutilés de guerre et les infirmes. MM. N.

Cours complémentaire annexe. — Prothèse et rééducation professionnelle..... GOURDON

Par délibération du 5 août 1879, la Faculté a arrêté que les opinions émises dans les Thèses qui lui sont présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs, et qu'elle entend ne leur donner ni approbation ni improbation.



A MON PERE

LE DOCTEUR MAURICE PHILIP

*Oto-Rhino-Laryngologiste des Hôpitaux,
Chevalier de la Légion d'honneur,
Officier de l'Instruction publique,*

A MA MERE

Je vous dois tout. Votre vie de travail et d'abnégation sera pour moi un exemple que je m'efforcerai toujours de suivre.

Que cette thèse représente à tes yeux, Père aimé, un modeste hommage à l'homme de bien et à l'admirable clinicien dont je suis fier d'avoir été l'interne.

Qu'elle vous soit à tous deux un faible témoignage de ma profonde affection et de ma reconnaissance infinie.

A MES GRANDS-PARENTS

A MES BEAUX-PARENTS

A MA FEMME

A MON BEAU-FRÈRE ET MES BELLES-SŒURS

A MES ONCLES — A MES TANTES

A MES AMIS

A MES CAMARADES DE L'INTERNAT

A MES MAITRES DU LYCEE DE BORDEAUX

A MES MAITRES DE LA FACULTE ET DES HOPITAUX

STAGE

1924-1925 MONSIEUR LE PROFESSEUR JACQUES CARLES.
MONSIEUR LE PROFESSEUR AGRÉGÉ CHARRIER.

EXTERNAT

1926 MONSIEUR LE PROFESSEUR G. CHAVANNAZ.

INTERNAT

1927 MONSIEUR LE PROFESSEUR LE DANTEC.
MONSIEUR LE PROFESSEUR AGRÉGÉ CABANNES.
1928-1929 MONSIEUR LE PROFESSEUR BEGOUIN.
MONSIEUR LE DOCTEUR ROCAZ.
1930 MONSIEUR LE DOCTEUR M. PHILIP.
MONSIEUR LE PROFESSEUR PORTMANN
1931 MONSIEUR LE PROFESSEUR AGRÉGÉ PAPIN.
MONSIEUR LE PROFESSEUR PORTMANN.

A MONSIEUR LE DOCTEUR LAFFARGUE

Chirurgien des Hôpitaux.

Avec ma reconnaissance pour m'avoir
guidé dans la voie chirurgicale.
Hommage de respectueux attachement.

A MONSIEUR LE DOCTEUR JEAN VILLAR

Chirurgien des Hôpitaux.

MON CHER JEAN,

J'ai toujours trouvé sur ma route l'appui de ta belle intelligence, et il m'est doux en ce jour de te redire toute ma reconnaissance et toute mon affection.

A MONSIEUR LE DOCTEUR RETROUVEY

*Oto-Rhino-Laryngologiste des Hôpitaux,
Chevalier de la Légion d'honneur.
Croix de guerre.*

A MONSIEUR LE DOCTEUR DESPONS

*Oto-Rhino-Laryngologiste des Hôpitaux,
Médaille militaire,
Croix de guerre.*

A MON MAITRE

MONSIEUR LE PROFESSEUR P. BÉGOUIN

*Professeur de Clinique chirurgicale à la Faculté de Médecine de Bordeaux,
Chirurgien des Hôpitaux,
Correspondant national de l'Académie de Médecine,
Membre correspondant de la Société de Chirurgie de Paris,
Officier de la Légion d'honneur,
Officier de l'Instruction publique.*

A MON MAITRE

MONSIEUR LE PROFESSEUR G. CHAVANNAZ

*Professeur de Clinique chirurgicale à la Faculté de Médecine de Bordeaux,
Correspondant national de l'Académie de Médecine
et de la Société de Chirurgie de Paris,
Officier de la Légion d'honneur,
Décoré de la Médaille interalliée et de la Médaille de la Victoire,
Officier de l'Instruction publique.*

A MON MAITRE

MONSIEUR LE PROFESSEUR H.-L. ROCHER

*Professeur de Clinique chirurgicale infantile et orthopédie,
Membre des Sociétés française et italienne d'orthopédie,
Chirurgien de l'Hôpital des Enfants,
Chevalier de la Légion d'honneur,
Officier de l'Instruction publique.*

Nous leur devons le meilleur de notre culture chirurgicale.

Qu'ils veuillent bien trouver dans ce travail l'expression de notre reconnaissance et de notre respectueuse admiration.

A MON MAÎTRE

MONSIEUR LE DOCTEUR ROCAZ

*Médecin de l'Hôpital des Enfants,
Médecin-chef de la Maison maternelle des Hospices,
Officier de la Légion d'honneur,
Officier de l'Instruction publique.*

MON CHER MAÎTRE,

Je n'oublierai jamais les heures que j'ai vécues dans votre service de l'Hôpital des Enfants, votre accueil plein de bonté, vos admirables leçons cliniques et votre véritable apostolat social.

A MON MAÎTRE

MONSIEUR LE PROFESSEUR AGRÉGÉ F. PAPIN

*Chargé du Cours complémentaire de Médecine opératoire à la Faculté
de Médecine de Bordeaux,
Chirurgien de l'Hôpital Saint-André,
Membre correspondant de la Société nationale de Chirurgie,
Chevalier de la Légion d'honneur,
Croix de guerre,*

MON CHER MAÎTRE,

J'ai été séduit par la précision de vos diagnostics, par votre élégance opératoire et votre enseignement lumineux.

Veuillez trouver dans ce travail un hommage à votre maîtrise chirurgicale et à votre indulgente bienveillance.

A MON MAÎTRE

MONSIEUR LE PROFESSEUR G. DUBREUIL

*Professeur d'Anatomie générale et d'Histologie à la Faculté
de Médecine et de Pharmacie de Bordeaux,
Directeur de l'Institut Pasteur de Bordeaux,
Chevalier de la Légion d'honneur,
Officier de l'Instruction publique,*

MON CHER MAÎTRE,

C'est dans votre laboratoire si clair et si accueillant que j'ai acquis le meilleur de ma formation scientifique.

Recevez l'hommage de ma profonde reconnaissance pour les conseils précieux que vous m'avez prodigués, toujours empreints du jugement sûr, de la haute intelligence et de l'inépuisable érudition qui font de vous un grand Savant français.

A MON MAÎTRE ET PRÉSIDENT DE THÈSE

MONSIEUR LE PROFESSEUR G. PORTMANN

*Professeur de Clinique d'oto-rhino-laryngologie à la Faculté de Médecine
et de Pharmacie de Bordeaux,
Médecin principal de la Marine (C. R.),
Officier de la Légion d'honneur,
Croix de guerre,
Officier de Saint-Sava (Serbie),
Chevalier de l'Ordre de Charles III (Espagne).*

MON CHER MAÎTRE,

Dans votre beau service, vous n'avez cessé de nous prodiguer l'exemple de votre parfaite maîtrise chirurgicale et de votre prodigieuse activité.

Je garde un souvenir inoubliable de vos admirables leçons cliniques et de votre enseignement tout de clarté, même dans les exposés les plus ardu.

Que cette thèse, dont vous m'avez fait le grand honneur d'accepter la présidence après m'en avoir inspiré le sujet comme mémoire de médaille d'or, vous soit un modeste hommage de ma profonde admiration et de mon respectueux attachement.

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE

DE LA

PHYSIOLOGIE DE L'OREILLE MOYENNE

INTRODUCTION

La physiologie de l'oreille moyenne est mal connue. Le temporal est un os épais, compact, qui dissimule les réactions de ses cavités et les dérobe aux moyens d'exploration habituels à la physiologie.

La difficulté technique, le manque d'applications immédiates, font délaissier le problème, et Bonain peut écrire en 1928 :

« La théorie de l'audition est, en dépit de nos connaissances, figée ou à peu près dans la théorie d'Helmholtz. »

Depuis quelques années, une réaction se produit et fait l'objet du rapport de 1928 au Congrès français d'oto-rhino-laryngologie. Mais des théories exposées, aucune ne prédomine par manque de preuves expérimentales, et les fonctions des osselets et des muscles de la caisse sont esquissées plutôt que démontrées.

Pour pénétrer d'une manière plus approfondie la physio-

logie de l'oreille moyenne, un double problème se pose : D'abord, pouvoir émettre des sons convenables; ensuite, pouvoir accéder dans la caisse sans léser aucun organe.

De ces deux questions, la première est la plus difficile à résoudre si l'on veut utiliser des bases physiques sûres. Or, l'étude des sons a été longtemps délaissée, et il a fallu attendre ces dernières années pour que la synthèse électrique des sons imprime à l'acoustique une activité nouvelle.

Ce n'est qu'après avoir soigneusement envisagé le côté purement physique de la question que nous avons pu aborder la partie plus proprement expérimentale.

Elle est basée sur ce fait que, chez les rongeurs, l'oreille moyenne est procidente sous la base du crâne et qu'on peut arriver à en exposer la cavité sans traumatiser les muscles, les ligaments ou les osselets.

Ainsi, l'on découvre au microscope une oreille active, vivante et sensible à tous les bruits extérieurs.

Après un historique rapide, nous suivrons dans notre travail le plan suivant :

- a) Technique expérimentale;
 - b) Physiologie des muscles du marteau et de l'étrier;
 - c) Mouvements des osselets;
 - d) Sensibilité de l'oreille.
-

CHAPITRE PREMIER

HISTORIQUE

La physiologie de l'oreille moyenne a été liée étroitement aux progrès de l'anatomie de cet organe et débute au xvi^e siècle, quand Béranger de Carpi fait connaître la chaîne des osselets de l'ouïe et que Nicolas Massa étudie le tympan et le marteau qui lui est adhérent.

En 1514, Fabrice d'Acquapendens, dans une intuition de génie, émet cette hypothèse que la membrane du tympan transmet les vibrations qu'elle reçoit, à la chaîne des osselets, ainsi qu'à l'air de la caisse. Les sons graves pénètrent par la fenêtre ronde. Par leur action, les muscles de la caisse du tympan défendent l'oreille interne contre les sons trop intenses, risquant de la traumatiser.

En 1672, Willis compare ce qui se passe dans l'oreille à la réfraction dans les milieux de l'œil et pense que le tympan concentre les sons sur le labyrinthe.

Il faut arriver au xix^e siècle pour trouver les premières recherches scientifiques sur la physiologie de l'oreille moyenne, dues à Weber et Savart. Dans un mémoire publié en 1824, ces auteurs attribuent au marteau une double fonction : Par la tension qu'il exerce sur le tympan, il limite l'amplitude vibratoire de cette membrane, réalisant ainsi un rôle de protection contre les sons intenses, et, entraîné par le tympan, il en transmet les vibrations à la chaîne des osselets, réalisant une fonction de transmission sonore.

En 1840, Muller exécute de nombreuses expériences sur les vibrations des solides et des membranes, qu'il décrit dans son *Traité de physiologie*, paru à Francfort en 1851. Il étudie

le problème de l'audition d'un point de vue strictement physique et construit une oreille artificielle sous forme d'une cloche, fermée par des membranes et plongeant dans l'eau. Sur cet appareil, bien éloigné de la fine architecture de l'oreille, il élabore le principe des énergies spécifiques et les lois qui portent son nom, énonçant que le passage des vibrations de l'air aux solides et aux liquides amène un affaiblissement considérable de leur intensité. Au contraire, cette diminution n'a pas lieu si la propagation a lieu par l'intermédiaire d'une membrane. Ainsi apparaît le rôle du tympan et le but de son interposition entre l'air ambiant et les leviers solides de l'appareil transmetteur.

En 1862, Helmholtz publie sa théorie définitive de l'audition. Cette théorie est basée sur la loi d'Ohm, sur la loi des énergies spécifiques de J. Müller et sur la connaissance de l'organe de Corti; elle concerne surtout l'oreille interne, que le physicien allemand regarde comme un système de résonateurs. Plus tard, en 1867, Helmholtz, étudiant le jeu des osselets, conclut que l'ensemble des appareils de l'oreille moyenne a pour objet de transmettre, par le moyen des osselets, le mouvement vibratoire de la surface relativement étendue du tympan, à la surface beaucoup plus réduite de la fenêtre ovale ou de la base de l'étrier (15 à 20 fois moindre). Le problème mécanique, résolu par les appareils des cavités tympaniques, consiste donc à transformer un mouvement de grande amplitude et de petite force (tympan) en un autre de plus faible amplitude et de plus grande force, qu'il s'agit de communiquer au liquide du labyrinthe. C'est un problème analogue à celui du levier, de la poulie ou de la grue; mais le procédé de l'appareil auditif est tout à fait différent. L'action de levier existe ici, mais dans une faible mesure. L'extrémité du manche du marteau, sur laquelle s'exerce la traction du tympan, est environ une fois et demie plus grande que la force qui agit sur l'extrémité du marteau.

Ces expériences sont reprises en 1867 par Politzer.

En attachant aux osselets de fines tiges de verre filé, il

démontre que l'axe de rotation du marteau passe par l'extrémité de l'apophyse grêle et celui de l'enclume par l'extrémité de la courte apophyse.

Mais la théorie d'Helmholtz soulevait trop d'objections pour être admise par tous. Dès 1860, les expériences ou les hypothèses émises par les otologistes donnent naissance à trois théories fondamentales de la propagation sonore, l'accord n'arrivant pas à se faire sur ce point de savoir si le son se transmet par voie osseuse, ou par voie aérienne, ou bien s'il emprunte ces deux voies simultanément. Des discussions passionnées ont lieu. Les partisans de la théorie d'Helmholtz soutiennent que le son se propage dans la caisse par la voie : tympan-osselets-fenêtre ovale. Parmi ces auteurs, nous trouvons, en France, Marage, Bonnier et Gellé.

Marage démontre, en 1904, que les déplacements vibratoires de la platine de l'étrier, loin d'atteindre $4/10^{\circ}$ de millimètre, comme l'avait avancé Helmholtz, étaient de l'ordre du $1/1.000^{\circ}$ de millimètre au maximum.

Bonnier soutient l'hypothèse d'un déplacement de la chaîne des osselets sous l'influence, au niveau du tympan, des variations périodiques de pression, synchrones aux oscillations sonores dont est animée la membrane. Toute la poussée s'effectuerait sur le centre du tympan, qui est lâche et facile à déplacer à cause de la forme conique de la membrane, ce qui assure une grande facilité d'oscillation du manche du marteau. Bonnier admet le jeu du marteau sur l'enclume. Comme Helmholtz, comme Bernstein, l'auteur pense que le mouvement des osselets diminue d'amplitude en passant du tympan à l'étrier.

Gellé considère l'oreille moyenne comme un organe de transmission et de protection contre les traumatismes sonores. La chaîne des osselets a un rôle comparable à celui de l'âme du violon qui associe les deux tables d'harmonie; la platine de l'étrier est la plaque conductrice par excellence des vibrations solides au liquide inclus, d'autant mieux qu'elle répond à la rampe vestibulaire du limaçon, où sont

rassemblées les terminaisons nerveuses du nerf cochléaire. Gellé montra aussi l'influence sur l'audition de l'augmentation de pression à l'intérieur de la caisse, en comprimant l'air du conduit auditif externe et créant de ce fait l'épreuve clinique qui porte son nom.

La théorie d'Helmholtz fut soutenue, en Allemagne, par Ewald, von Eicken et Denker; en Amérique, par Shambaugh; de Chicago; en Italie, par de Cigna.

Mais, depuis longtemps, la possibilité d'une audition suffisante sans tympan ni osselets avait fait abandonner par quelques auteurs l'idée de la transmission du son par voie exclusivement osseuse. Bezold, Lucae, Mathias Duval, admettent, déjà, à la fin du xix^e siècle, une suppléance fonctionnelle de l'air de la caisse dans la propagation des sons. Puis Beyer, Schmiedekan, Boenninghaus, Schaeffer, Swendt, et récemment Specht, en 1926, ont admis la double transmission par voie aérienne et ossiculaire, mais sans définir la part qui revient en propre à chacune.

Enfin, une troisième théorie dénie aux osselets toute fonction de transmission sonore. Les vibrations réfractées par le tympan et l'air de la caisse sont concentrées sur la fenêtre ronde, unique voie d'accès des ondes acoustiques au labyrinthe. C'est cette théorie, soutenue par Bechmann, Kleinschmidt et Secchi, qui fut défendue ardemment par Bonain au Congrès français d'oto-rhino-laryngologie de 1928.

De profondes divergences ont lieu également sur certaines des fonctions attribuées aux muscles de la caisse. Tout le monde est d'accord, même ceux qui, comme Zimmermann, dénie tout rôle conducteur à la chaîne des osselets, pour soutenir que le muscle du marteau protège l'ouïe contre les ébranlements trop intenses.

Politzer, électrisant sur des têtes de chien récemment sacrifiées le nerf trijumeau, a vu le tympan se porter en dedans, se tendre et réduire ainsi l'amplitude de ses oscillations au tiers, tandis que la chaîne des osselets se redressait, se raidissait, refoulant dans la fenêtre ovale la platine de l'étrier, compri-

mant par conséquent le liquide labyrinthique et le rendant moins excitable.

Ce qui divise les physiologistes, c'est de savoir si le muscle du marteau préside au réflexe de l'accommodation, c'est-à-dire s'il donne au tympan une courbure différente pour chaque hauteur de son, lui permettant de vibrer au mieux pour chaque son émis.

D'autres divergences ont lieu au sujet de l'action et des fonctions du muscle de l'étrier. Les uns, et c'est l'opinion des traités classiques d'anatomie de Testut et Poirier, admettent que ce muscle a une action antagoniste du muscle du marteau. Tandis que celui-ci est le muscle qui protège, le muscle de l'étrier est le muscle qui écoute. Après Toynbee, Politzer, Gellé, Ostmann admet qu'en diminuant la pression labyrinthique, le muscle de l'étrier facilite l'audition, en rendant plus aisée l'arrivée des ondes sonores par relâchement du tympan et décompression des terminaisons nerveuses du nerf cochléaire. Cette conclusion est en accord avec l'opinion de Jacques, en 1930, d'après laquelle la contraction du muscle de l'étrier a pour résultat une détente du tympan et une décompression du liquide labyrinthique.

Pour faire le bilan de l'état actuel de nos connaissances, nous prendrons les conclusions de Bonain dans son rapport de 1928 :

L'oreille moyenne a deux fonctions :

- 1° Celle de transmettre les sons au limaçon;
- 2° Celle de favoriser ou entraver, suivant le cas, cette transmission par le jeu de l'accommodation auditive.

Le rapporteur, ayant repoussé la pénétration par la fenêtre ovale, a conclu à la pénétration des ondes acoustiques dans le limaçon à travers l'air de la caisse et la fenêtre ronde. L'air de la caisse forme une lentille gazeuse de Sondhaus, une face étant représentée par la fenêtre ronde, l'autre par le tympan.

Quand l'attention auditive a lieu pour un son faible, le muscle de l'étrier se contracte, ce qui augmente la convexité de la lentille, et le son converge sur la membrane de la fenêtre ronde.

Si un son fort vient frapper le tympan, le muscle du marteau se contracte, attire le tympan en dedans, et les ondes étant non plus convergentes, mais divergentes, une faible partie seulement pénètre dans le labyrinthe au niveau de la fenêtre ronde.

C'est l'accommodation à l'intensité, dans un but de protection des éléments sensoriels.

Nous allons voir expérimentalement ce que l'on doit retenir de ces conclusions.

CHAPITRE II

TECHNIQUE EXPERIMENTALE

I. — Production des sons.

Si l'on analyse les expérimentations antérieures, on trouve que contrairement aux perfectionnements progressifs des procédés physiologiques, la partie physique reste rudimentaire et utilise des appareils dont la constance acoustique est précaire.

L'acoustique était jusqu'à ces dernières années une science délaissée dont on n'espérait plus de progrès. Il faut la guerre pour diriger les recherches sur l'échelle sonore, pour découvrir la puissance de pénétration des sons suraigus qui ne sont plus audibles, les ultrasons, qui serviront pour les sondages. La téléphonie sans fil se développe, exige des chambres d'émission où les sons ne résonnent point, des filtres acoustiques pour éliminer les distorsions, des amplificateurs qui respectent la pureté.

Dès 1916, en Amérique, Lee de Forest, l'inventeur de la lampe audion, préconise l'emploi de celle-ci pour la production directe des sons musicaux. Puis les laboratoires de physique, poussés par la Western, concentrent leur activité sur l'acoustique, on peut dire une acoustique nouvelle, qui procède largement de l'électricité. En 1922, Hugoniot envisage l'emploi des commutateurs tournants, puis propose d'utiliser les propriétés photoélectriques du tellure et du sélénium.

En 1923, les « ondes sonores » sont vulgarisées par Théremin et Martenot, à la fois artiste et physicien.

Depuis 1926, les Allemands s'attachent à la question;

Trendelenburg met au point l'émission électrothermique des sons. Janovski, en 1930, étudie l'audibilité de l'échelle sonore avec des bases physiques sûres.

Cependant, ces notions demeurent peu familières aux physiologistes. Le rapport de 1928 n'en fait pas mention. Et cependant leur connaissance est nécessaire à qui s'intéresse à la physiologie de l'audition. C'est pourquoi nous insisterons sur le mode de production des sons.

Pour obtenir des résultats expérimentaux corrects, il faut observer les réactions de l'oreille à une source sonore dont les constantes soient bien établies. La condition première est de pouvoir faire varier les qualités du son indépendamment les unes des autres, c'est-à-dire d'obtenir une intensité plus ou moins forte et un ton plus ou moins aigu sans que la variation d'un de ces facteurs retentisse aucunement sur l'autre. Quant au timbre, nous l'avons éliminé autant que nous l'avons pu par l'utilisation de sons purs, dont la forme sinusoïdale reproduisait celle du diapason.

Dans les expériences antérieures, on sent les auteurs souvent gênés pour la production des fréquences variables. Les expériences les plus minutieuses de Toru Kato, exécutées à Vienne en 1913, utilisent comme source sonore le sifflet de Galton, la sirène, les tuyaux d'orgue et les barres sonores.

Pour une fréquence donnée, ces émetteurs peuvent produire une variation d'intensité; mais il est impossible de dire si, pour des notes différentes, l'intensité demeure la même ou si elle ne varie pas dans de larges limites.

Avant d'aller plus loin, il faut énoncer une définition de l'intensité sonore.

L'intensité d'un son est synonyme de puissance; elle peut être définie comme l'énergie cinétique moyenne pendant la durée d'une période rapportée à l'unité de masse.

Pour un son simple, sinusoïdal, d'amplitude a et de fréquence N , le calcul montre que cette intensité a pour valeur :

$$I = \pi^2 a^2 N^2.$$

L'intensité sonore est donc proportionnelle aux carrés de l'amplitude et de la fréquence vibratoire.

Etant donnée cette définition de l'intensité, il s'agit de la mesurer. Avec un son simple, la seule question revient à mesurer a et N . Avec un son complexe, au contraire, la détermination de l'intensité nécessite l'isolement et la mesure de chacune des composantes fondamentales simples et de leurs harmoniques, composantes dont l'ensemble réalise le timbre du son analysé.

Les premières mesures d'intensité furent effectuées par lord Rayleigh en plaçant sur le trajet de l'onde sonore un petit disque mobile autour d'un axe excentrique et dont les différences de déviation constituaient un terme de comparaison. Le disque était associé avec chacun des éléments d'une série de résonateurs quand il s'agissait de mesurer l'intensité de sons complexes.

L'emploi d'un tel appareil, malgré les perfectionnements de Sivian, demeurait laborieux et applicable exclusivement à l'étude des régimes sonores permanents.

Le problème se posa tout autrement dès que l'on convertit la vibration sonore en variation d'un courant électrique. Cette transformation constituait le principe des premiers téléphones. On sait qu'ils utilisaient les variations de résistance électrique d'un système microphonique vibrant sous l'influence des ondes sonores, variations se traduisant par des modifications du courant électrique mesurables au galvanomètre. Ce microphone à charbon, perfectionné et sensibilisé, put devenir un instrument de mesure.

On utilisa ensuite le microphone condensateur. L'une de ses armatures est fixe, l'autre peut vibrer sous l'influence des ondes sonores et ainsi se produisent des variations de la capacité électrique du système.

Enfin, tout récemment, dans les *Annales des P. T. T.* de février 1930, Chavasse et Gosselin ont publié la description d'un microphone à quartz basé sur les phénomènes de piézo-électricité, dont le rôle devient capital en radiotechnique.

Munis de tels microphones, ayant converti les sons en vibrations électriques, il est facile d'enregistrer chaque variation au moyen d'un dispositif inscripteur sur tambour.

Pour les sons complexes et de variation rapide, on ne peut utiliser cependant le microphone. On doit alors enregistrer le son avec un oscillographe; puis l'oscillogramme est passé avec une vitesse convenable devant un faisceau lumineux dont il occulte une partie variable. La lumière résiduelle est reçue par une cellule photoélectrique qui fournit un courant électrique proportionnel à son illumination et que l'on peut utiliser pour les mesures.

Ces appareils ont actuellement de nombreuses applications pratiques, en particulier la mise au point des installations téléphoniques et des haut-parleurs, et aussi l'étude précise de l'acoustique des salles et du pouvoir absorbant des parois.

Ces dispositifs ne datent que de ces toutes dernières années, aussi peut-on en attendre encore de nombreux résultats. Les mesures qui nous intéressent concernent la voix et la sensibilité de l'oreille.

La puissance vocale est variable suivant les individus. D'une façon moyenne, cependant, on trouve un maximum très net pour les fréquences graves entre 300 et 500 vibrations doubles par seconde. La puissance moyenne de la voix pendant un long intervalle de temps est faible : de 7 à 10 microwatts. On a calculé qu'une assemblée de 500 personnes, parlant toutes à la fois, nuit et jour, sans arrêt pendant deux mois, n'auraient pas produit assez d'énergie pour faire bouillir une tasse de thé.

Pour ce qui est de la sensibilité de l'oreille, depuis les importants travaux d'Escat, elle a été étudiée par de nombreux auteurs : Fletcher et Wegel, et Janovski en 1930. Nous exposerons leurs recherches ultérieurement.

Appareils émetteurs. — Pour nos premières expériences, nous avons utilisé les mêmes instruments que les auteurs précédents, afin de connaître dans ses grandes lignes le

mode des réactions auriculaires aux sons. Les premières observations furent faites avec la série des diapasons grâce auxquels nous avons pu commencer à étudier la contraction des muscles de la caisse.

Pour les sons aigus et la détermination de la limite supérieure des sons, nous avons utilisé le sifflet de Galton. En vissant de plus en plus l'embout qui le termine, on arrive aux sons suraigus, pénibles pour l'oreille, et l'on atteint la limite supérieure des sons audibles, en moyenne à la graduation 1,5 ou 2.

Nous l'avons monté sur une turbine électrique en intercalant sur la tubulure un flacon faisant matelas d'air, destiné à absorber les coups de bélier du moteur.

Avec un tel appareil, on obtient des sons de hauteur variable, mais l'intensité varie en même temps dans de fortes proportions et fausse, de ce fait, les résultats. Le sifflet de Galton ne permet pas l'obtention des sons graves; aussi, pour les fréquences moyennes et basses, avons-nous utilisé la sirène d'Helmholtz. En modifiant la vitesse de rotation du tambour, on fait varier la hauteur du son indépendamment de l'intensité, cette dernière pouvant elle-même être modifiée en agissant sur la turbine d'alimentation. Des tirettes permettent de s'élever d'une octave en démasquant toute une série de trous.

L'inconvénient de la sirène réside en ce fait que l'on n'obtient pas des sons musicaux de forme sinusoïdale mais une série de chocs dont la réunion provoque une impression tonale. Les sons obtenus sont d'ailleurs riches en harmoniques.

En somme, de tous ces appareils mécaniques, aucun n'était satisfaisant; c'est pourquoi nous avons pensé qu'il serait intéressant d'utiliser l'électricité pour la production de sons aussi constants que possible.

Avec l'électricité, on a un procédé plus souple, plus sensible et plus stable que les tuyaux d'orgue, la sirène, les barres sonores et le diapason, et les questions de hauteur et d'intensité se posent tout différemment.

Sans doute, la conversion de la vibration sonore en vibration électrique ne laisse pas de soulever quelques difficultés; le rendement mécanique est faible, et de l'énergie sonore minime il faut encore perdre une grande partie.

Mais, une fois la conversion effectuée, grâce aux amplifications presque illimitées permises par la lampe audion, on peut obtenir des puissances considérables, de telle sorte que les mesures et analyses en sont grandement facilitées.

Un tel appareil doit avoir pour caractéristique essentielle la fixité de ses constantes : intensité et hauteur et la possibilité de faire varier chacun de ces facteurs indépendamment de l'autre.

L'intensité peut être modifiée en shuntant l'électro-aimant du haut-parleur par une résistance variable.

L'obtention de sons purs, pour éliminer la question du timbre, est difficile et nécessite des conditions nombreuses et délicates : il faut d'abord un haut-parleur dont la période de vibrations propres soit éloignée de l'intervalle de 30 Hertz à 30.000, représentant l'échelle tonale audible. La question des harmoniques est importante. Dans un appareil de musique ordinaire, la vigueur de l'attaque, la tension de l'archet, la souplesse des doigts qui pincant la corde peuvent modifier le timbre dans d'assez larges limites. Par exemple, en pianissimo, la flûte donne des sons purs. En forte, de nombreux harmoniques apparaissent, notamment l'harmonique 2.

Avec un émetteur électrique, il est donc nécessaire d'éliminer les harmoniques au moyen de filtres électriques constitués par une chaîne de cellules semblables composées de bobines de self-induction et de condensateurs.

Ces préliminaires étant exposés, on peut classer les instruments électro-acoustiques en trois catégories :

Un premier groupe comprend les appareils constitués par les alternateurs à fréquence musicale. L'idée en est déjà ancienne, et fut mise à exécution pour la première fois en 1900, à New-York, par Cahill, sous le nom de telharmonium,

avec un moteur de 185 CV. et 144 alternateurs, au moyen desquels il essaya de distribuer de la musique à un certain nombre d'abonnés. A l'époque, le dispositif eut peu de succès; mais il vint d'être repris en mars 1928 par Bethenod au moyen d'un piano électrique formé d'alternateurs d'embreument réduit.

Une deuxième catégorie d'appareils comprend les émetteurs radioélectriques à lampes.

Leur principe consiste à faire interférer à fréquence musicale deux vibrations peu différentes.

Citons parmi les réalisations, l'appareil imaginé en 1925 par Théremin, et que son auteur montra sur un certain nombre de scènes d'Europe. En approchant la main droite d'une tige formant antenne, il y a une modification de la capacité du système, d'où dépend la hauteur du son. La main gauche règle l'intensité.

En 1928, l'ingénieur et violoncelliste français Martenot a présenté un émetteur dans lequel la hauteur est réglable au moyen d'un fil se déplaçant devant une règle graduée, dont la disposition est analogue au clavier d'un piano. La main gauche commande l'intensité et le changement de timbre. On obtient, de ce fait, une gamme de sons très variés et très purs.

Un troisième dispositif, d'où dérive le cinéma parlant, est basé sur les propriétés des cellules photoélectriques, dont la résistivité varie suivant l'éclairage auquel elles sont soumises. Le cellulophone de M. Toulon permet l'obtention de timbres précis par l'occultation du faisceau lumineux au moyen d'un carton découpé soit en forme sinusoïdale, soit selon des périodes variées. Le dispositif à disque tournant d'Hugoniot, le superpiano du Professeur Thiring, de Vienne, sont également basés sur les propriétés de la cellule de sélénium ou de potassium.

Parmi ces trois sortes d'appareils, si l'on envisage surtout le facteur pureté du son, c'est à la deuxième catégorie que l'on doit donner la préférence, puisque nous ne trou-

vons pas d'organes tournants avec des vibrations et des bruits propres. En revanche, les appareils à lampe sont d'un réglage assez délicat pour conserver la hauteur des sons. Les alternateurs sont beaucoup plus fixes.

Voilà, rapidement esquissées, quelles sont les possibilités actuelles pour la production électrique des sons. Malheureusement, la réalisation est difficile. L'otologie est loin des connaissances de la physique, et les ressources des laboratoires ne sont pas grandes. Ne pouvant avoir les appareils ci-dessus, non plus que l'audiomètre de la Western, nous avons essayé de construire de nos mains un émetteur sonore.

Le premier appareil que nous avons utilisé était basé sur la méthode préconisée par Lee de Forest, qui consiste à créer une basse fréquence musicale par l'interférence de deux oscillations à haute fréquence.

Deux petits oscillateurs à lampes produisant des oscillations de hautes fréquences f et f' , qui induisent dans un circuit de réception des oscillations électriques de même fréquence respective. La superposition de ces deux systèmes d'oscillations produit une oscillation résultante dont l'amplitude varie périodiquement à la fréquence $f-f'$, différence des fréquences des oscillations composantes. Il suffit de prendre cette différence entre 30 et 30.000 hertz pour que la résultante soit modulée à fréquence acoustique. Par exemple, si f est égal à 300.000 oscillations par seconde, correspondant à une longueur d'onde de 1.000 mètres, et si f' est égal à 300.435, la fréquence des battements sera de 435, correspondant au la_3 . La fréquence f est fixe, la fréquence f' variable par simple déplacement de la tige du condensateur. Le haut-parleur branché sur le secondaire doit être monté en série avec un détecteur.

Un tel appareil nous a donné des sons très purs, mais il a le grand défaut d'être instable et trop sensible aux variations extérieures. Il suffit d'approcher la main d'une des selfs pour entendre le son monter de plusieurs intervalles.

Pour éliminer cette instabilité, nous avons construit un

second émetteur basé sur le principe de l'automodulateur de Fromy et Fleweling. Il consiste en une lampe triode fonctionnant simultanément comme oscillatrice (circuit oscillant sur la grille) et comme détectrice (grâce à un condensateur c shunté par une résistance r). La lampe détectant ses propres oscillations, le potentiel moyen de la grille baisse. Il en résulte une diminution de l'amplitude des oscillations qui finissent par décrocher pour une baisse donnée du potentiel. Le condensateur c se décharge dans la résistance r et le potentiel de grille monte. Quand il atteint sa valeur supérieure, primitive, les oscillations se réamorcent, d'où nouvelle baisse du potentiel moyen de grille et nouveau décrochage; le phénomène est périodique. Au lieu d'oscillations entretenues, on a donc des oscillations modulées. En intercalant un écouteur dans le circuit de plaque, on a un son dont la hauteur est égale à la fréquence de modulations de la lampe détectant ses propres oscillations.

Cet appareil constituait un progrès marqué sur le précédent pour la constance de la hauteur et de l'intensité des sons émis. Mais le timbre de tels sons, composé d'une série de chocs, manque de pureté. En particulier, l'étalonnage par rapport à des diapasons selon la méthode des battements est difficile. Pour obtenir un timbre meilleur, il nous fallait un appareil plus perfectionné, utilisant la méthode des filtres.

Il fallait, d'autre part, un haut-parleur fidèle dont la période des vibrations propres fût éloignée des fréquences audibles, c'est-à-dire, en dehors de l'intervalle 30, 50.000 vibrations doubles par seconde.

Or, un tel instrument doit être construit spécialement, car les appareils utilisés couramment ont une vibration propre pour des sons en général voisins de 10.000 à 20.000 Hertz et produisent un renforcement considérable des notes comprises dans cet intervalle. Les résultats sont, dès lors, complètement faussés.

Ne possédant pas un tel haut-parleur, non plus que ces filtres, nous nous sommes adressé au laboratoire d'une

grande firme anglaise d'appareils sonores pour avoir, enregistrées sur disques, des bandes de sons de constance déterminée. Pour avoir une énergie sonore constante, il faut que les amplitudes et les vitesses maxima de la pointe de l'aiguille, dans une direction perpendiculaire à la ligne normale du sillon, soient calibrées de façon à réaliser un produit pratiquement constant.

Les disques ont été enregistrés de trois manières :

a) Le son varie constamment, à la manière du bruit d'une sirène, en descendant progressivement la gamme des fréquences. La variation se fait de manière régulière, selon une courbe qui reproduit la variation d'une fonction sinusoïdale. L'intensité est constante et peut être modifiée par l'éloignement de l'appareil. Nous aurions pu aussi nous servir d'un amplificateur en pick-up, contrôlable au moyen d'un voltmètre audionique branché à chacune de ses bornes, et montrant la variation de la fréquence en fonction de la tension.

b) Pour éliminer la résonance de la pièce, le son est enregistré suivant le type hululant, c'est-à-dire que sa fréquence varie de plus ou moins 50 Hertz à raison de 10 fois par seconde, tandis que la fréquence moyenne diminue progressivement de 6.000 à 150 Hertz. De ce fait, les ondes stationnaires sont supprimées, puisque les nœuds et les ventres se déplacent constamment.

c) Enfin, les derniers disques étaient enregistrés sous forme de bandes de fréquences constantes durant cinquante secondes environ pour chaque son. Les constantes étaient toujours rigoureusement déterminées.

Ce mode d'émission présente un inconvénient : il faut un reproducteur fidèle émettant les sons avec la même énergie quelle que soit la fréquence.

Or, les phonographes actuels ne peuvent conserver cette constance au delà de 6.000 vibrations doubles. Il nous a donc été impossible jusqu'ici d'expérimenter d'une façon précise au-dessus de ce chiffre. Nous ne publions donc nos résultats que de 100 à 6.000 Hertz, exception faite pour la limite

supérieure des sons recherchée avec le sifflet de Galton, et qui, de ce fait, n'offre pas une base physique sûre.

Quoi qu'il en soit, c'est ce mode d'émission qui nous a paru être le plus précis pour la production de sons d'intensité fixe et de fréquence variable.

Munis de cet appareillage, nous avons pu entreprendre la partie purement physiologique de ce travail.

II. — Technique de la trépanation.

Celle-ci doit être pratiquée sous vision microscopique, à cause de la petitesse des organes et de leurs déplacements. Nous utilisons le microscope binoculaire de Zeiss, monté sur un long bâti à potence lui permettant des déplacements dans tous les plans de l'espace et donnant un grossissement de 10 à 50, selon les objectifs, ce qui permet de distinguer une longueur de 8 à 10 μ .

Notre éclairage, tout d'abord latéral, fut modifié afin de pouvoir disposer la source lumineuse sur un des oculaires et d'observer par l'autre, ce qui nous permettait l'expérimentation en cavités profondes avec un éclairage suffisant. Pour la trépanation, jusqu'au plan osseux nous utilisons le miroir de Clar.

Nous avons pris des lapins de 6 mois. Chez l'animal plus âgé, la surface de trépanation saigne, ce qui gêne considérablement l'observation; chez l'animal plus jeune, les organes sont trop petits et difficiles à observer.

L'animal est fixé sur une table à vivisection du modèle ordinaire, mais percée en avant d'un orifice laissant passer les pavillons des oreilles, pour faire vibrer la source sonore à leur voisinage immédiat. Pour la contention de la tête, nous avons utilisé l'appareil de Verdin-Boulitte, qui a l'avantage de laisser libre la région sous-maxillaire.

L'animal est fixé à l'aide de crochets disposés au pourtour de la table, le ventre en l'air afin d'avoir accès immédiatement sur la région sous-angulo-maxillaire. Nous avons

utilisé le matériel chirurgical courant de petit modèle, auquel nous avons adjoint un écarteur automatique à deux peignes, semblable à l'écarteur mastoïdien de Malherbe, et une pince gouge à mors longs et fins. Pour dilacérer les membranes de l'oreille moyenne, il est commode d'utiliser une fine aiguille tenue dans les mors d'une pince de Kocher.

Il faut opérer aseptiquement pour que le même lapin puisse servir à plusieurs séries d'expériences sans que l'on soit rapidement gêné par un exsudat inflammatoire dans la caisse.

L'animal étant fixé, il faut repérer d'abord le maxillaire inférieur, son angle et sa branche montante, qui répond à la bulle par son bord postérieur.

La ligne d'incision est horizontale et suit le bord inférieur de ce maxillaire. Elle débute à 2 centimètres en avant de l'angle, puis se recourbe en arrière vers la ligne médiane jusqu'au-devant de la trachée. La peau est réclinée en dedans et en dehors à l'aide de pinces de Kocher. On tombe immédiatement sur la parotide et la sous-maxillaire, dont la fine aponévrose est incisée, et on prend soin de ne pas blesser la veine jugulaire externe, qui est toute proche sous forme d'un volumineux cordon violet. La parotide et la sous-maxillaire sont réclinées en avant, à l'exception du pôle postérieur de cette dernière, qui est réséqué.

Ici les difficultés commencent. En effet, la branche montante du maxillaire et les ptérygoïdiens qui capitonnent sa face interne sont abordés par un important réseau vasculaire formé par les branches de la carotide externe, qu'il faut éviter de blesser. Un petit écarteur de Farabeuf joue à cet effet le rôle de protecteur. Un deuxième écarteur est placé en face, sur la berge interne de la plaie, et récline le pharynx et les muscles sus et sous-hyoïdiens.

On est alors en présence d'un plan profond représenté par l'ensemble des muscles insérés sur la mastoïde et l'apophyse jugulaire de l'occipital, et qui diverge en avant et en arrière sous forme d'un tapis musculo-tendineux recouvrant la bulle osseuse du temporal. Au-dessus d'eux, les artères occipitale,

faciale et maxillaire interne sont transversalement étendues de dedans en dehors; il faut les ménager à tout prix, sous peine d'hémorragie abondante. La face interne du maxillaire est la zone dangereuse de la région. Si l'on craint les lésions vasculaires, il est bon de rechercher la carotide externe, que l'on trouve facilement grâce aux battements qu'elle imprime à la partie interne de la plaie, au voisinage du conduit pharyngé. L'artère est dénudée; on y place une soie fine en attente, qu'il suffirait de serrer en cas d'hémorragie.

Le champ opératoire étant bien découvert, il faut sectionner le ventre postérieur du digastrique. Puis on insinue le bec de la sonde cannelée à travers le plan musculaire profond, immédiatement contre le bord postérieur du maxillaire, et, en dilacérant avec de grandes précautions, on voit apparaître une surface osseuse blanche, qui n'est autre que la bulle du temporal.

On rugine l'os en avant avec le bec de la sonde; en arrière, on est gêné par une saillie osseuse qui recouvre la bulle (apophyse jugulaire du temporal); il faut réséquer cette apophyse à sa base avec la pince gouge ou avec des ciseaux longs et forts. Il y a en général, à ce moment, hémorragie veineuse, qui cède vite au tamponnement. Les muscles qui s'insèrent sur l'apophyse jugulaire sont alors réclinés en dedans. On termine l'exposition de la bulle en ruginant profondément de tous côtés, et ainsi elle apparaît comme un dôme blanc surplombant la région. Pour maintenir l'écartement des muscles et l'exposition suffisante de la bulle, nous utilisons l'écarteur automatique à deux peignes. La branche interne comprime fortement le conduit laryngo-trachéal.

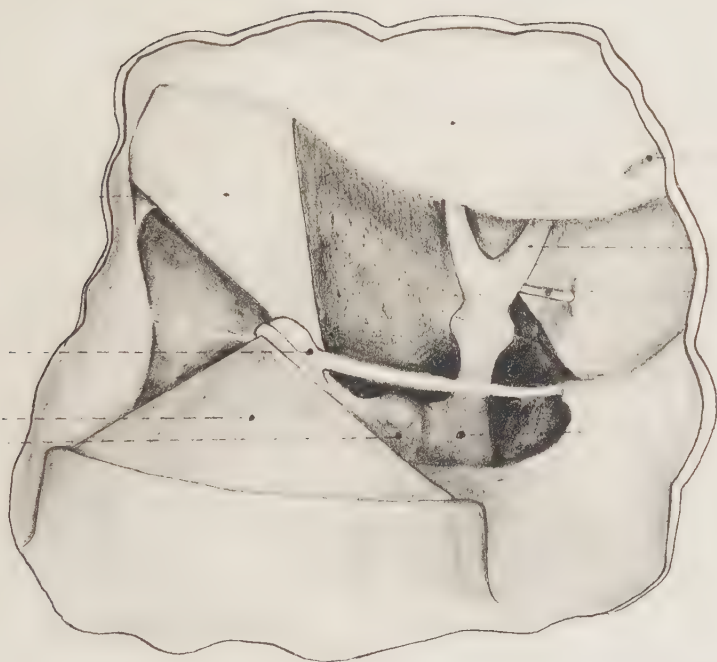
C'est pourquoi, avant de poser l'écarteur, nous faisons une trachéotomie préventive de façon très simple, sous forme d'une boutonnière occupant un espace entre deux anneaux au-dessus de l'isthme thyroïdien. Il faut faire une boutonnière parallèle à l'axe de la trachée sur la ligne médiane; une incision transversale, parallèle aux anneaux, déterminerait une hémorragie risquant d'asphyxier l'animal. Il faut

PLANCHE I

*L'oreille moyenne telle qu'elle apparaît sous le microscope
après trépanation de sa paroi inférieure.*

LÉGENDE.

1. Promontoire.
2. Muscle du marteau.
3. Fec lume.
4. Muscle de l'étrier.
5. Tympan.
6. Manche du marteau.
7. Tête du marteau.
8. Etrier (branche postérieure).
9. Fenêtre ronde.



heli

avoir une hémostase parfaite et lier tout ce qui saigne. Pour parer à un suintement éventuel, après tamponnement soigneux nous remplissons la plaie de collodion, en garnissant les bords de lambeaux de compresses afin de lui constituer une véritable armature. Le « collodion armé » maintient, d'autre part, l'exposition de la bulle.

Tout est prêt pour la trépanation. A l'aide d'une gouge très fine et du marteau, on enlève un petit copeau du dôme, puis, introduisant par l'orifice ainsi créé le fin mors de la pince gouge, on grignote progressivement la bulle dans toutes ses directions.

On peut ainsi créer un orifice de 6 à 7 millimètres de diamètre environ, tapissé intérieurement par la muqueuse de la caisse, qui ne doit pas être abrasée en même temps que l'os. Nous sectionnons cette muqueuse avec des ciseaux fins, et on parfait le nettoyage avec une aiguille tenue par une pince de Kocher.

On peut ainsi prendre connaissance de l'oreille moyenne du lapin :

OREILLE MOYENNE. — Sa forme et son contenu se rapprochent beaucoup de ceux de la caisse du tympan de l'homme, aux proportions près. Le canal de Fallope, très proéminent, forme un éperon osseux divisant la caisse en deux portions; l'inférieure, profonde, constitue la bulle; la supérieure, moins haute, forme l'attique et contient les osselets.

Le conduit osseux fait saillie par son extrémité interne dans la caisse, en un court cylindre massif sur lequel est inséré le tympan. La membrane tympanale affecte la forme d'un cône assez allongé dont le rayon supérieur donne insertion au marteau.

La paroi interne est marquée par le promontoire et les deux orifices labyrinthiques. La fenêtre ovale n'est pas elliptique, mais présente une extrémité antérieure, aiguë, et une postérieure, mousse. Au-dessous et en arrière, est creusée une niche profonde où s'ouvre la fenêtre ronde. A sa jonction avec la paroi antérieure la face interne montre l'orifice

tubaire, avec, au-dessus, le bec de cuiller, par où émerge le tendon du muscle du marteau. Pour un lapin de six mois, les dimensions de la caisse sont en moyenne de 3 millimètres pour la largeur, de 6 millimètres pour la hauteur et de 2 millimètres pour le diamètre tympanal.

OSSELETS. — La caisse renferme les trois osselets : le marteau, l'enclume et l'étrier.

Le marteau mesure environ 3 millimètres de long. Son manche est une lame aplatie, fixée par un de ses bords à la membrane du tympan, l'autre bord étant libre dans la caisse et donnant insertion, par l'intermédiaire d'une petite apophyse interne, aux ligaments antérieur et postérieur et, immédiatement au-dessous de cette insertion, au tendon du muscle du marteau.

Le manche est prolongé par un col, terminé lui-même par la tête, engagée dans l'attique et articulée avec le corps de l'enclume.

La forme de l'enclume se rapproche beaucoup de celle que nous observons chez l'homme. La branche supérieure s'appuie au-dessus de la saillie du facial. La branche inférieure descend verticalement et s'articule avec l'étrier par l'intermédiaire d'une surface large et aplatie. La capsule de cette articulation est lâche et permet d'assez amples mouvements de translation.

L'étrier, très semblable lui aussi à l'étrier humain, mais beaucoup plus petit, puisqu'il mesure 4 mm. 1/2 de long, s'articule, d'une part, avec l'enclume par une surface large, et aplatie, et, d'autre part, par sa platine, avec la fenêtre ovale, dont elle épouse la forme.

MUSCLES. — Les muscles sont au nombre de deux :

a) Le muscle du marteau s'attache à cet osselet par un fort tendon issu du bec de cuiller;

b) Le muscle de l'étrier est fin et délicat à voir. Il pénètre dans la caisse par un orifice siégeant au niveau de la saillie du facial, et s'attache à la branche postérieure de l'osselet.

LIGAMENTS. — Deux forts ligaments, antérieur et postérieur,

attachent le marteau à la partie moyenne de la caisse. Le ligament supérieur le fixe au toit. L'enclume est fixée par un ligament supérieur; enfin l'étrier est uni à la fenêtre ovale par des fibres beaucoup plus développées en avant (partie aiguë) qu'en arrière (partie mousse).

Nous avons été frappé, au cours de nos dissections, par le grand nombre des oreilles pathologiques chez le lapin, environ 1 sur 4. Il s'agissait surtout d'otites moyennes en activité avec suppuration de la caisse, ou anciennes, avec ankylose des osselets et production de brides fibreuses cicatricielles.

Après la trépanation de la bulle, on a sous les yeux l'ensemble de l'oreille moyenne et l'on peut reconnaître les différents organes ci-dessus énumérés (Planche 1).

À la partie externe, le tympan s'enfonce dans la caisse sous forme d'un cône allongé dont le sommet est marqué par l'insertion du manche du marteau. La partie moyenne de l'osselet donne insertion au volumineux tendon du muscle du marteau, venu de la partie antéro-interne de la caisse; en avant et en arrière, les ligaments antérieur et postérieur du marteau, ce dernier passant comme un pont au-dessus de l'étrier et de son articulation avec l'apophyse verticale de l'enclume.

Le champ opératoire est désormais prêt pour l'expérimentation. Il faut déterminer des mouvements d'amplitude faible, de l'ordre du centième de millimètre. De tels déplacements doivent être étudiés à l'aide d'un repère. Nous avons utilisé la poudre d'or, déposée à l'aide d'une fine aiguille, sous le contrôle du microscope.

Tout déplacement est dès lors repérable au micromètre oculaire et toute vibration des osselets doit se traduire par la transformation du point en une ligne brillante, mesurable elle aussi au micromètre.

CHAPITRE III

PHYSIOLOGIE DES MUSCLES

I. — Muscle du marteau.

Tous les auteurs sont d'accord pour assigner au muscle du marteau un rôle double.

D'une part, il tend la membrane du tympan. C'est le « tensor » des anatomistes allemands.

D'autre part, sa contraction provoque une basculé en dehors de la tête du marteau qui pivote autour de l'axe formé par ses ligaments antérieur et postérieur.

Le corps de l'enclume suit alors la tête du marteau en pivotant autour de sa branche horizontale tandis que sa branche verticale, se déplaçant en dedans, refoule l'étrier qui s'enfonce dans la fenêtre ovale.

L'action de ce muscle, selon la théorie classique, est donc de tendre la membrane du tympan par le déplacement en dedans du manche du marteau et d'augmenter la pression intralabyrinthique par le déplacement en dedans de la base de l'étrier.

Les résultats que nous avons observés sur l'oreille moyenne présentent une certaine différence avec les données classiques. Tandis que les auteurs assignent au muscle du marteau une influence importante sur les mouvements de l'étrier, nous avons toujours noté que cette action était à peu près nulle.

Le muscle du marteau émerge dans la caisse sous forme d'un fort tendon conique ayant 1 millimètre de diamètre à sa base et environ 3 millimètres de long. Il se porte obliquement en arrière et en dehors.

Sa contraction affecte surtout les fibres antérieures; on observe en mettant de la poudre d'or que la translation des grains antérieurs est plus accusée que celle des grains postérieurs qui se déplacent peu. En même temps, le bord postérieur s'incurve, comme s'il était sollicité par les fibres antérieures.

Le tendon est élastique. Tandis que son émergence effectue des déplacements maxima de $170\ \mu$, son insertion malléolaire paraît fixée et l'amplitude de son déplacement ne dépasse pas $10\ \mu$.

Le tendon s'attache sur une apophyse antéro-interne du marteau située au-dessous des insertions ligamenteuses antérieure et postérieure. On comprend que sa contraction se traduise par une rotation du marteau autour de l'axe formé par ses ligaments. Ainsi le tympan, porté en dedans, se trouve tendu, tandis que la tête exécute un déplacement en dehors.

Cela est conforme à la doctrine classique. Mais ce qui en diffère, c'est l'amplitude des mouvements du muscle du marteau. Dans les plus fortes contractions, l'umbo ne se déplace pas en dedans de plus de $15\ \mu$, soit moins de la centième partie de son diamètre.

Les ligaments antérieur et postérieur sont puissants, le tympan a une structure fibreuse, et ces différents facteurs paraissent s'opposer à un déplacement plus marqué.

La tête de l'osselet exécute pendant ce temps un déplacement en dehors à peine perceptible au microscope, mais non mesurable, sans doute de l'ordre de $8\ \text{à}\ 10\ \mu$.

La tête de l'enclume exécute un mouvement extrêmement faible, à la limite de la visibilité. Quant à la branche verticale de cet osselet, elle nous est apparue comme sans cesse fixée. Peut-être suit-elle les mouvements imprimés par le marteau au corps de l'enclume, mais ses déplacements, s'ils existent, sont inférieurs à $8\ \mu$, qui est la limite de définition de notre microscope.

Or, les expériences antérieures, en particulier celles de

PLANCHE 2.

Action du muscle du marteau.

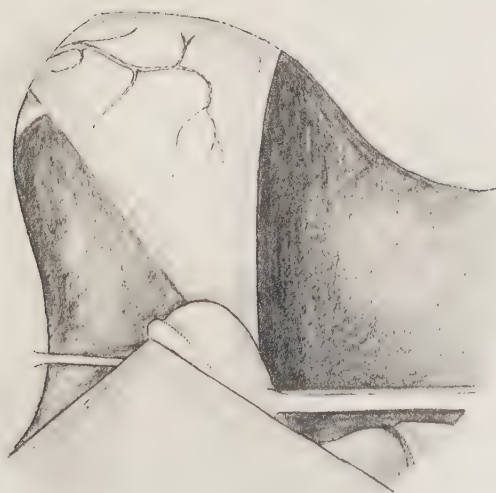
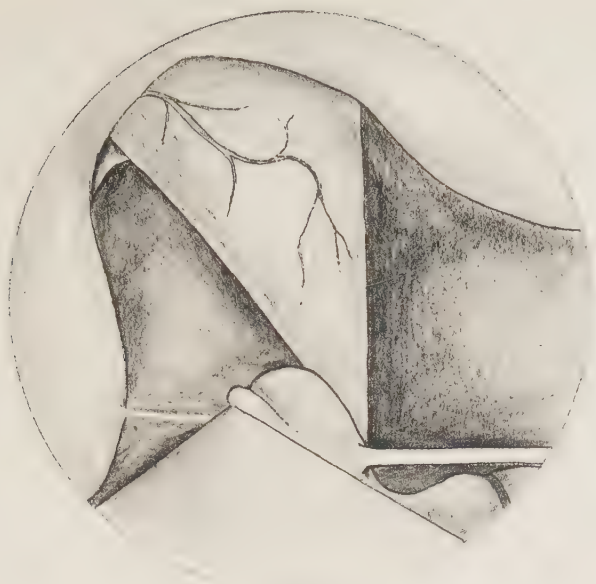
1^o *Repos :*

2^o *Contraction :*

Le vaisseau tendineux sert de repère et montre que la rétraction est marquée surtout pour les fibres antérieures. Le bord postérieur s'incurve.

L'insertion du tendon sur le marteau est légèrement portée en dedans.

La tête du marteau bascule très légèrement en dehors.



Hansen, de Bockendahl, de Toru Kato, assignent à ce muscle des déplacements beaucoup plus considérables. C'est que, de ces auteurs, les premiers fichent une aiguille dans le tendon près de son émergence en ce point que justement nous avons vu être le siège de grandes élongations. Quant à Toru Kato, il résèque le tympan et les ligaments. Ainsi est annulée la puissante contre-extension de ces derniers, qui fixent la membrane et réduisent par leur élasticité l'influence élongatrice du muscle du marteau.

Ainsi s'explique que les auteurs antérieurs, de par leur technique, aient pu trouver des déplacements de l'ordre du millimètre.

La muqueuse de la caisse enveloppe le muscle. Après avoir tapissé la caisse, elle se réfléchit sur le tendon, dont elle est séparée au niveau de l'émergence par une couche celluleuse lâche. Elle ne pénètre pas jusqu'au fond de l'angle formé par la paroi osseuse et le tendon, mais passe, comme un pont, au-dessus. Ces différents facteurs expliquent que cette muqueuse soit mobile sur les plans sous-jacents.

L'apposition à sa surface de particules brillantes permet de voir une différence entre les mouvements des vaisseaux tendineux et ceux de la muqueuse qui les recouvre.

Dans sa contraction, le muscle du marteau attire la muqueuse de la face interne de la caisse, qui glisse sur le promontoire en exécutant une translation d'arrière en avant atteignant en certains points 50 μ .

Pour l'observation microscopique numérique, nous avons mesuré le déplacement des vaisseaux près de l'émergence du tendon, puisque c'est en ce point que les élongations sont le plus considérables.

Il est difficile de faire une série d'expériences sur l'extrémité libre du tendon, car elle est masquée par le cône tympanal; il faudrait réséquer ce dernier, ce qui fausserait les résultats; enfin, il s'agit de mouvements d'amplitude très faible.

Nous avons procédé pour cette étude à deux séries d'ex-

périences, en faisant varier les deux facteurs intensité et hauteur.

- a) Variation de la contraction en fonction de l'intensité;
- b) Variation de la contraction en fonction de la hauteur.

a) VARIATION DE LA CONTRACTION EN FONCTION DE L'INTENSITÉ.

Les sons au-dessus d'une certaine intensité provoquent une contraction réflexe du muscle du marteau.

La durée de contraction du muscle est en fonction de la durée de l'émission sonore. Un son bref provoque une secousse musculaire brève, un son plus long provoque une mise en tension du muscle, qui ne disparaît que lorsque le son a cessé d'être émis.

Le début de la phase de raccourcissement ne montre pas de retard appréciable sur le début du son. Au contraire, le retour au repos du muscle se fait lentement, en une demi-seconde environ.

Si on fait varier l'intensité du son en maintenant la hauteur constante, on observe des modifications de la contraction.

En faisant varier le son de façon continue, d'une intensité presque nulle jusqu'à une intensité forte, dans une première phase répondant au son faible, le muscle du marteau ne réagit pas. Disons d'ores et déjà que, dans cette même phase, le muscle de l'étrier se contracte, surtout pour les sons aigus. Puis, franchi un certain seuil, le muscle du marteau entre en contraction, et le raccourcissement est d'autant plus marqué que l'énergie sonore est plus grande.

Pour arriver à l'élongation maxima, qui est de 150 à 190 μ , il faut un son très intense, fait qui oppose encore le muscle de l'étrier, qui se contracte déjà au maximum pour les intensités moyennes.

Ne possédant pas de disques de Rayleigh, nous avons choisi arbitrairement différentes intensités croissantes I, II, III, IV, répondant à un éloignement respectivement de 3 mètres, 1 mètre, 0 m. 50 et 0 m. 20 de la source sonore, et nous avons noté pour chacune le déplacement du tendon.

Nos premières expériences sont faites avec 256 et 512 Hertz; les élongations de l'émergence du tendon sont exprimées en μ .

256 Hertz.					512 Hertz.				
Élongations en μ .					Élongations en μ .				
Intensité sonore.	n° 1	Animal n° 2	n° 3	n° 4	Intensité sonore.	n° 1	Animal n° 2	n° 3	n° 4
I...	0	0	0	0	I...	0	0	0	0
II...	0	10	0	0	II...	10	0	0	0
III...	0	20	0	0	III...	20	30	0	0
IV...	10	20	10	10	IV...	30	30	20	10

Ces deux tableaux, montrent que, pour les sons graves dont la fréquence est inférieure à 700 Hertz, le muscle du marteau ne se contracte que faiblement, et l'intensité minima nécessaire pour obtenir une contraction est élevée. Les élongations les plus marquées ne dépassent pas 30 μ .

1.024 Hertz.					2.048 Hertz.				
Élongations en μ .					Élongations en μ .				
Intensité sonore.	n° 1	Animal n° 2	n° 3	n° 4	Intensité sonore.	n° 1	Animal n° 2	n° 3	n° 4
I...	10	0	0	0	I...	30	0	0	0
II...	20	10	20	0	II...	100	40	30	40
III...	50	40	20	10	III...	150	80	60	50
IV...	60	60	50	20	IV...	160	130	120	120

Pour 1.024 et 2.048 Hertz, les contractions sont beaucoup plus énergiques, le seuil d'intensité est abaissé. L'intensité IV provoque une élongation de 160 μ chez un de nos animaux

4.096 Hertz.					6.000 Hertz.				
Élongations en μ .					Élongations en μ .				
Intensité sonore.	n° 1	Animal		n° 4	Intensité sonore.	n° 1	Animal		n° 4
		n° 2	n° 3				n° 2	n° 3	
I...	20	30	40	40	I...	0	0	10	0
II...	30	40	20	30	II...	10	20	10	20
III...	50	70	30	60	III...	20	40	30	40
IV...	60	80	80	90	IV...	40	60	30	50

Le muscle se contracte toujours proportionnellement à l'intensité, mais les élongations diminuent pour les sons d'intensité faible.

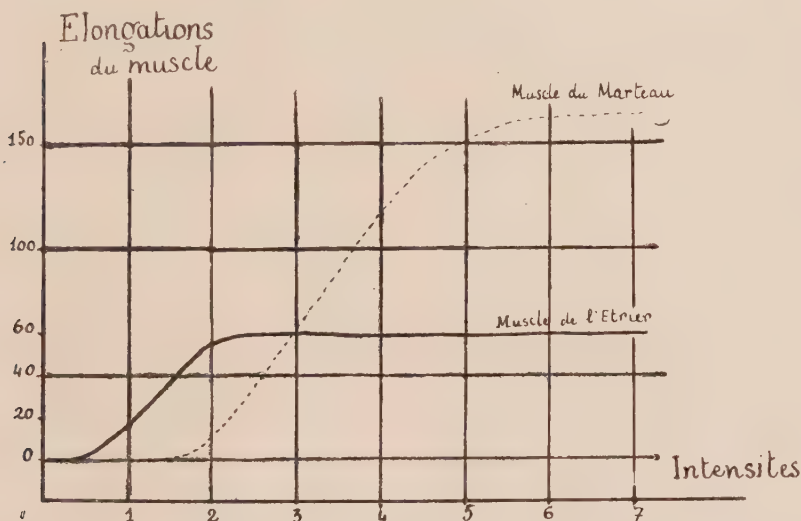
Nous avons ensuite utilisé une fréquence de 33.000 Hertz, notre matériel expérimental ne nous permettant pas l'emploi de sons entre 6.000 et 30.000 Hertz. Nous avons utilisé trois intensités, I, II, III, répondant à trois régimes croissants de la turbine alimentant le sifflet de Galton.

33.000 Hertz.					40.000 Hertz.				
Élongations en μ .					Élongations en μ .				
Intensité sonore.	n° 1	Animal		n° 4	Intensité sonore.	n° 1	Animal		n° 4
		n° 2	n° 3				n° 2	n° 3	
I...	10	20	10	20	I...	0	0	10	0
II...	20	20	10	20	II...	10	0	10	0
III...	40	30	20	30	III...	10	0	20	10

Pour les sons suraigus, au-dessus de 30.000 Hertz la contraction disparaît peu à peu, et n'est plus perceptible, quelle que soit l'intensité, aux alentours de 45.000 Hertz.

Pour résumer ces différents tableaux, on peut donc tracer une courbe (graphique I), représentant la contraction moyenne du muscle du marteau en fonction de l'intensité. Pour une faible intensité, pas de contraction. Puis celle-ci apparaît pour un certain seuil, et, à mesure que croît l'intensité, l'amplitude de l'élongation augmente parallèlement. Au delà d'une certaine intensité très forte, la contraction de-

vient la même quelle que soit l'énergie employée. Sur ce graphique figure la contraction du muscle de l'étrier pour comparaison ultérieure.



GRAPHIQUE 1. — Contraction des muscles de l'étrier et du muscle du marteau en fonction de l'intensité sonore.

b) VARIATION DE LA CONTRACTION EN FONCTION DE LA HAUTEUR.

Cette recherche est facilitée par la lecture des tableaux ci-dessus. On y lit qu'une intensité modérée provoque une contraction faible si la fréquence est basse, plus forte si le son est plus aigu. Nous avons repris cette recherche avec une intensité constante pour la série continue des fréquences depuis 6.000 Hertz jusqu'à 100 Hertz.

Pour cette étude, les disques à fréquence continuellement décroissante à la manière du son d'une sirène nous ont été particulièrement précieux, puisque c'est la gamme complète des sons du *sol*₇ au *la*₁ que nous avons pu avoir enregistrée.

Ainsi peuvent être dressés les deux tableaux suivants, le premier répondant à un son de forme sinusoïdale, et dont la fréquence décroît progressivement de 6.000 à 100 Hertz, le deuxième répondant à un son hululant, c'est-à-dire dont

la fréquence augmente et diminue dix fois par seconde de 50 Hertz. La fréquence moyenne décroît elle-même progressivement de 6.000 à 150 Hertz.

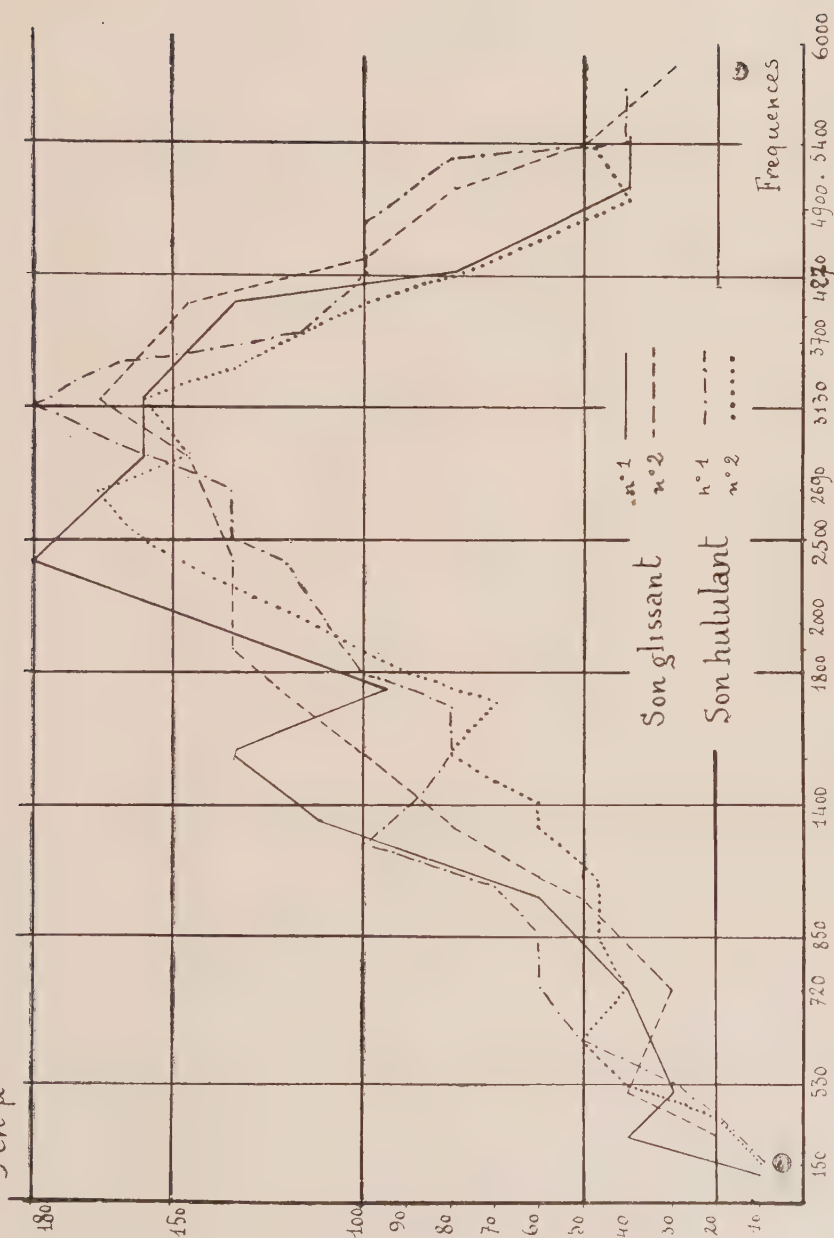
Ainsi sont éliminées les ondes stationnaires qui pourraient se former à la faveur de l'exiguïté de notre salle d'expériences, et constituer de ce chef une cause d'erreurs.

Son glissant.			Son hululant.		
Fréquence en Hertz.	Élongations en μ .		Fréquence en Hertz.	Élongations en μ .	
	Animal n° 1	n° 2		Animal n° 1	n° 2
6.000....	30	30	6.000....	40	50
5.400....	40	50	5.400....	40	50
4.820....	40	80	5.010....	80	40
4.230....	80	100	4.620....	100	80
3.810....	140	150	4.270....	100	80
3.290....	160	170	3.840....	120	120
2.850....	160	150	3.500....	160	140
2.400....	180	140	3.130....	180	160
2.060....	120	140	2.810....	160	150
1.750....	100	130	2.690....	140	170
1.500....	140	100	2.500....	140	160
1.310....	120	80	2.180....	120	140
1.080....	80	60	2.000....	110	120
900....	60	50	1.800....	100	90
720....	40	30	1.650....	80	70
510....	30	40	1.520....	80	80
280....	40	20	1.400....	90	60
120....	40	20	1.170....	100	60
			1.000....	70	50
			850....	60	50
			720....	60	40
			610....	50	50
			530....	30	40
			350....	20	20
			150....	40	40

Ces deux tableaux nous montrent clairement la variation de contraction du muscle du marteau en fonction de la hauteur.

Dans une première phase allant de 100 à 500 Hertz, le muscle se contracte de façon régulièrement croissante, en même

Elongations
en μ



GRAPHIQUE 2. — Contraction du muscle du marteau en fonction de la hauteur.

temps qu'augmente la fréquence. Au delà de 500 Hertz, la contraction devient beaucoup plus énergique et passe par un maximum pour une fréquence de 2.700 à 3.000 Hertz, selon les oreilles examinées.

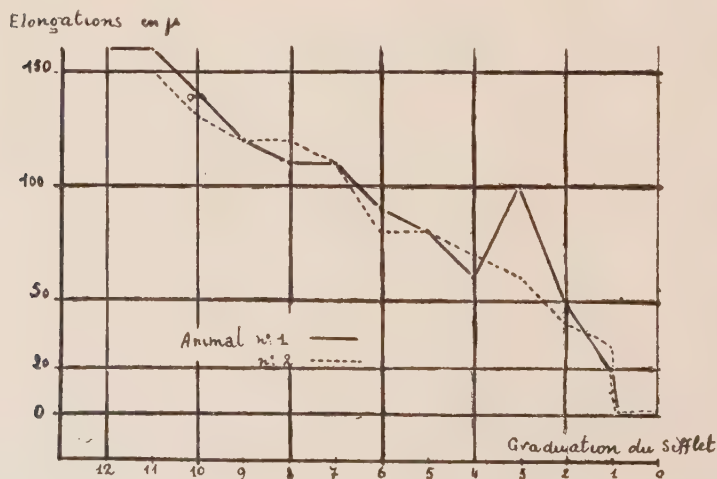
Au delà de 3.000 Hertz, la contraction décroît progressivement d'amplitude à mesure que le son monte. Notre matériel expérimental ne nous a pas permis de pousser nos expériences au delà de 6.000 Hertz.

Nous avons porté les résultats sur le graphique ci-joint.

Il est intéressant d'observer le seuil supérieur de cette contraction. Mais pour cela les disques sont insuffisants, et il faut utiliser le sifflet de Galton alimenté par une turbine. Les variations de la vitesse de rotation modifient plus ou moins l'intensité sonore par action sur le courant d'air qui alimente le sifflet.

Les résultats obtenus à l'aide de ce procédé ne peuvent atteindre qu'une certaine approximation, et encore en ayant soin d'interposer entre la turbine et le sifflet un grand récipient d'air faisant office d'amortissement contre les coups de bélier.

Ces résultats sont consignés sur le graphique ci-dessous :



GRAPHIQUE 3. — Contraction du muscle du marteau. Limite supérieure des sons.

Ces chiffres montrent que le son devient de moins en moins audible à mesure que la hauteur devient plus considérable. La contraction disparaît pour le chiffre 1, 0,8, 1,5, selon les oreilles examinées.

Ce chiffre traduit la limite supérieure des sons audibles pour le lapin.

II. — Muscle de l'étrier.

De profondes divergences ont lieu au sujet du muscle de l'étrier. Toynbee a montré que le tendon du muscle attirait l'osselet en arrière et un peu en dehors. Gellé fait remarquer qu'il entraîne en même temps l'extrémité inférieure de la branche verticale de l'enclume. Sappey a bien décrit ce mouvement complexe, grâce auquel la tête de l'étrier et la branche de l'enclume étant déplacées en arrière, la tête de l'enclume vient déprimer en dedans la tête du marteau, avec laquelle elle s'emboîte, et fait osciller autour de l'axe de rotation le manche du marteau en dehors. Ce mouvement est marqué par une détente manifeste du tympan répondant à un mouvement nettement antagoniste du muscle du marteau.

Nos observations sont en contradiction avec la description de Sappey. Nous avons observé au grossissement de 50 le muscle de l'étrier; jamais nous n'avons vu sa contraction retentir sur la branche de l'enclume.

Le tendon du muscle apparaît au microscope sous forme d'un cylindre mesurant en moyenne 1 millimètre de long et 0 mm. 15 de diamètre, attaché à la racine de la branche postérieure de l'enclume sur son bord postéro-externe. Ce tendon est particulièrement élastique. Si l'on dépose à sa surface une série de particules d'or, on voit qu'à un déplacement donné près du point d'émergence répond un déplacement réduit du tiers au niveau du point d'insertion. Pendant la contraction, on voit les grains d'or, près de l'émergence du tendon, se rapprocher beaucoup les uns des autres.

PLANCHE N° 3.

Action du muscle de l'étrier.

FIG. 1. — Repos.

FIG. 2. — Contraction telle qu'on
l'observe.

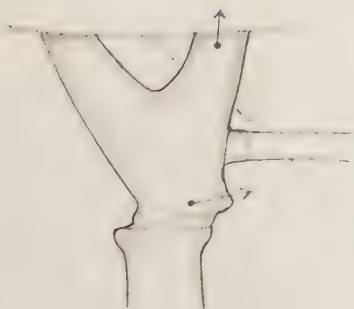
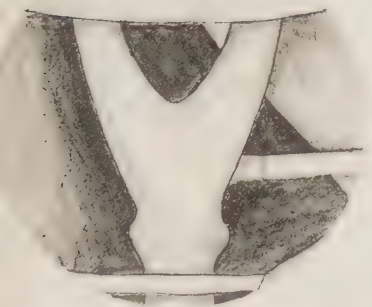
FIG. 3. — Schéma de la contraction. *

On voit que la contraction du muscle porte l'osselet en arrière, subluxé la tête
de l'étrier sur la surface articulaire correspondante de l'enclume.

La branche postérieure est enfoncée dans la fenêtre ovale.

La branche antérieure ne bouge pas.

■



Ce tendon est sans cesse en mouvement tant que le silence n'est pas absolu. Les bruits extérieurs les plus minimes sollicitent ces déplacements; de telle sorte qu'il existe un contraste entre le puissant tendon du muscle du marteau, lourd à se mettre en branle, et le tendon du muscle de l'étrier, délicat et sans cesse en activité.

La contraction du muscle se traduit par un double mouvement :

Une translation en arrière;

Un enfoncement en dedans de la branche postérieure de l'osselet.

La translation en arrière se fait grâce à la laxité de l'articulation de l'enclume avec l'étrier; la surface plane articulaire de ce dernier glisse sur la surface correspondante de l'enclume, qui demeure fixe. La capsule de l'articulation incudostapédienne est lâche et suit ce mouvement de subluxation. Les plus grands déplacements atteignent 50 μ .

L'enfoncement en dedans de la branche de l'étrier affecte seulement sa branche postérieure. La branche antérieure reste fixe et n'a aucune tendance à se porter en dehors, comme l'énonce la théorie anatomique classique. Les plus grands déplacements en dedans ne dépassent pas 10 μ .

La rotation résultant de cet enfoncement, rotation qui a pour centre l'union de la branche antérieure et de la sole, se traduit au niveau de la fenêtre ovale par une diminution de l'amplitude de la translation de l'étrier, qui atteint au plus 7 à 8 μ .

D'autre part, si nous considérons la forme de la fenêtre ovale, nous remarquons qu'elle n'est pas régulièrement elliptique, mais au contraire pointue en avant, arrondie en arrière.

La sole de l'étrier affecte une forme semblable. La translation de l'étrier dans cette fenêtre provoque donc une mise en tension du ligament stapédovestibulaire dans sa partie

antérieure et l'application du bord postérieur de l'osselet contre le rebord osseux de la fenêtre.

En résumé, la contraction du muscle de l'étrier déplace cet osselet en arrière, l'enfoncé et l'immobilise dans la fenêtre ovale.

Pour l'observation, nous avons noté le déplacement, d'une part, de l'insertion du tendon sur l'étrier, et, d'autre part, d'un point du tendon près de son émergence, puisque les déplacements, étant plus accentués en ce dernier point, y sont plus facilement repérables.

Nous avons fait, comme pour le muscle du marteau, deux séries de recherches :

- a) Variations de la contraction en fonction de l'intensité;
- b) Variations de la contraction en fonction de la hauteur.

a) VARIATIONS DE LA CONTRACTION EN FONCTION DE L'INTENSITÉ.

Pour une hauteur donnée, plus facilement avec les sons aigus, l'émission d'un son détermine une contraction du muscle de l'étrier.

La durée de contraction de ce muscle est en fonction de la durée de l'émission sonore. A un son bref répond une simple secousse musculaire, à un son prolongé correspond une contraction synchrone qui disparaît dès que le son cesse d'être émis.

La contraction est rapide, le retour au repos immédiat, ce qui oppose le muscle de l'étrier au muscle du marteau, qui ne reprend sa forme qu'en une demi-seconde environ.

En faisant varier l'intensité du son, tout en conservant la fréquence constante, le muscle se contracte d'autant plus que l'intensité sonore est plus forte.

Pour une intensité voisine du seuil, c'est-à-dire presque imperceptible, puisque des sons très faibles provoquent une secousse, le muscle réagit par quelques secousses isolées.

Puis, à mesure que l'intensité croît, la contraction devient plus énergique et le muscle se tétanise tant que dure le son.

Nous avons étudié les variations de la contraction d'abord entre 150 et 50.000 Hertz. Dans cet intervalle, nous avons fait choix de quatre intensités croissantes : I, II, III, IV, répondant à un éloignement de la source sonore de 3 mètres, 1 mètre, 0 m. 50 et 0 m. 20. N'ayant pas de disque de Rayleigh pour mesurer ces intensités, nous ne pouvons les fixer de manière plus précise.

Les tableaux ci-dessous sont établis par les expérimentations sur quatre animaux. Les chiffres représentent les élongations en μ de l'émergence du tendon. Pour avoir le déplacement en arrière de la tête de l'osselet, il faudrait diviser ce chiffre par 3.

150 Hertz.					256 Hertz.				
Élongations en μ .					Élongations en μ .				
Intensité sonore.	n° 1	Animal n° 2	n° 3	n° 4	Intensité sonore.	n° 1	Animal n° 2	n° 3	n° 4
I...	20	40	20	30	I...	30	20	30	40
II...	30	20	20	40	II...	30	30	30	40
III...	40	20	30	40	III...	50	30	40	40
IV...	40	30	40	50	IV...	60	60	60	50

Ces deux tableaux montrent une progression de la contraction à mesure que croît l'intensité sonore. La courbe de l'élongation est régulière et proportionnelle à l'intensité.

1.024 Hertz.					3.200 Hertz.				
Élongations en μ .					Élongations en μ .				
Intensité sonore.	n° 1	Animal n° 2	n° 3	n° 4	Intensité sonore.	n° 1	Animal n° 2	n° 3	n° 4
I...	50	60	40	50	I...	60	70	50	60
II...	60	60	50	60	II...	60	70	60	60
III...	60	60	60	60	III...	60	70	60	60
IV...	60	70	60	60	IV...	60	70	60	60

Ces deux tableaux montrent que, pour des sons aigus, rapidement le muscle de l'étrier atteint son degré de contraction maximum pour une intensité faible. Au delà de cette intensité, le muscle est en contraction constante, et son élongation demeure la même quelle que soit l'énergie sonore utilisée.

50.000 Hertz.					40.000 Hertz.				
Élongations en μ .					Élongations en μ .				
Intensité sonore.	n° 1	Animal n° 2	n° 3	n° 4	Intensité sonore.	n° 1	Animal n° 2	n° 3	n° 4
I...	Nulle	Nulle	Nulle	Nulle	I...	60	70	50	50
II...	Id.	Id.	»	Id.	II...	60	70	60	60
III...	Id.	Id.	»	Id.	III...	60	70	60	60
IV...	10	20	»	Id.	IV...	60	70	60	60

Ces deux derniers tableaux montrent que, pour les fréquences suraiguës de 30.000 à 40.000 Hertz, la contraction est d'emblée maxima pour des intensités faibles. Puis, au delà d'une limite supérieure variant entre 40.000 et 50.000 Hertz, brusquement on n'obtient plus de réponse du muscle quelle que soit l'intensité employée. La contraction musculaire des deux premiers animaux provient vraisemblablement du bruit du moteur.

Ces différents résultats peuvent être portés sur un graphique représentant la contraction moyenne du muscle de l'étrier en fonction de l'intensité. Nous y avons fait figurer en pointillé la contraction du muscle du marteau (V. graphique 1, p. 49).

b) VARIATION DE LA CONTRACTION EN FONCTION DE LA HAUTEUR.

La lecture des tableaux précédents renseigne déjà dans une certaine mesure sur la variation de contraction du muscle en fonction de la hauteur. La contraction maxima survient pour une intensité IV avec les sons de fréquence inférieure à

100 Hertz et beaucoup plus rapidement avec les sons plus aigus.

La contraction du muscle de l'étrier est donc provoquée plus facilement par les sons aigus que par les sons graves.

Nous avons étudié ensuite la variation de cette contraction pour une série de fréquences croissantes, en ayant soin de maintenir l'intensité rigoureusement constante grâce aux tests longuement énumérés plus haut.

L'observation montre alors une contraction de faible amplitude pour les sons au-dessous du sol_1 (96 Hertz).

Puis, à mesure que la fréquence augmente, la contraction devient plus forte et le raccourcissement plus marqué. A partir d'une hauteur comprise selon les sujets entre 900 et 1.200 Hertz, la contraction musculaire atteint son maximum et, quelle que soit l'acuité du son, ne dépasse plus le chiffre de 60 à 70 μ . Cette contraction se maintient maxima jusqu'à une fréquence comprise selon les oreilles interrogées entre 3.000 et 5.000 Hertz.

A ce moment, l'élongation du muscle devient moins marquée et décroît progressivement à mesure que le son s'élève.

Cette augmentation de la contraction, suivie d'une décroissance avec un maximum dans l'intervalle compris entre 1.000 et 3.000 Hertz, s'entend pour des sons d'intensité modérée. Il suffit en effet que l'intensité augmente pour obtenir la contraction maxima pour des sons de fréquence inférieure à 1.000 Hertz.

Nous avons procédé à deux séries d'expériences en utilisant des sons glissants, dont la fréquence décroît constamment à la manière du son d'une sirène, puis des sons hulinants, dont la fréquence varie de 50 Hertz, dix fois par seconde, ce qui élimine les causes d'erreurs dues aux ondes stationnaires de notre salle exigüe.

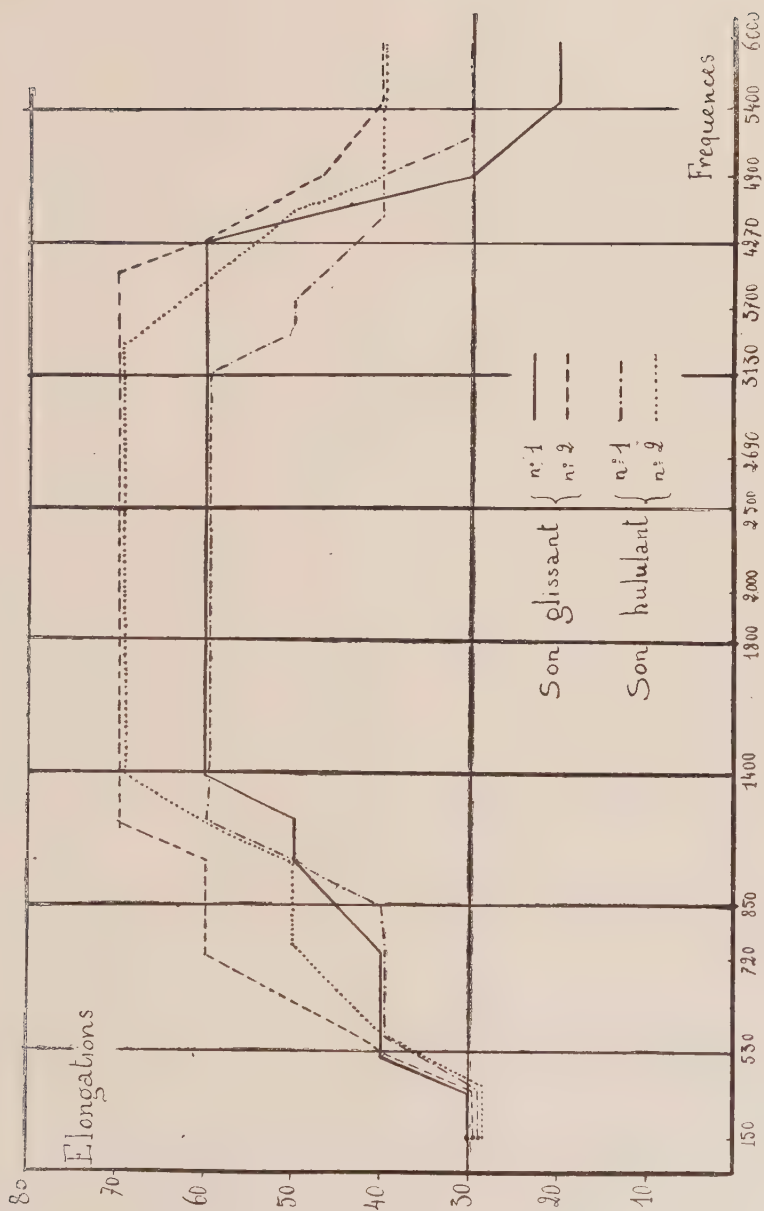
Son glissant.			Son hululant.		
Élongations en μ .			Élongations en μ .		
Hauteurs en Hertz.	Animal		Hauteurs en Hertz	Animal	
	n° 1	n° 2		n° 1	n° 2
6.000....	20	40	6.000....	30	40
5.400....	20	40	5.040....	30	40
4.820....	30	50	4.620....	40	40
4.230....	60	60	3.840....	50	60
3.840....	60	70	3.500....	50	70
3.430....	60	70	3.130....	60	70
2.850....	60	70	2.500....	60	70
1.900....	60	70	1.650....	60	70
1.750....	60	70	1.400....	60	70
1.310....	60	70	1.170....	60	60
1.080....	50	70	1.000....	50	50
900....	50	60	850....	40	50
720....	40	60	720....	40	50
510....	40	40	530....	40	40
280....	30	30	350....	30	30
120....	30	30	150....	30	30

Les chiffres de ces deux tableaux peuvent être portés sur les graphiques ci-joints.

Après avoir recherché les variations de contraction en fonction de la hauteur jusqu'à 6.000 Hertz, nous avons essayé de déterminer le seuil supérieur des sons capables de provoquer la contraction du muscle de l'étrier. Nous avons utilisé le sifflet de Galton.

Élongations en μ .		
Graduation du sifflet.	Animal	
	n° 1	n° 2
12.....	60	70
10	60	70
6.....	60	70
3.....	60	70
2.....	60	40
1,5.....	60	0
1.....	30	0
0,8.....	0	0
0.....	0	0

Ce tableau montre que la contraction du muscle de l'étrier se maintient la même jusqu'à une certaine hauteur, puis



GRAPHIQUE n° 4. — Contraction du muscle de l'étrier en fonction de la hauteur.

cesse brusquement, à la graduation 3, 2 ou 1,5, selon les animaux examinés.

Observation du muscle de l'étrier chez l'homme.

Il nous a paru intéressant de comparer ces résultats expérimentaux à deux observations publiées par Luscher en 1929.

Cet auteur a pu observer les mouvements du muscle de l'étrier à travers une perforation tympanale traumatique sur une oreille, par ailleurs, parfaitement normale.

Grâce à son microscope binoculaire, il put étudier les contractions du muscle sous l'influence des réflexes cochléaires provenant de l'une ou de l'autre oreille.

Le muscle de l'étrier se contracte d'autant plus fortement que l'intensité sonore est plus forte et que le son est plus élevé.

Pour des sons faibles, on observe de petites contractions qui augmentent avec l'intensité sonore et pour les sons très forts on observe un tétanos complet qui cesse avec la fin du son. Luscher a constaté des contractions pour l'échelle des sons compris entre 90 et 12.000 Hertz. Le réflexe est produit plus facilement par les bruits que par les sons purs, surtout les bruits de la vie journalière (voix humaine). Le réflexe peut également être produit par une irritation sensitive (piqûre du pavillon de l'oreille); mais le réflexe, dans ce cas, est inconstant.

Le raccourcissement est minime et n'atteint guère plus d'un dixième de millimètre. Pendant sa contraction, la membrane du tympan demeure en repos; l'action mécanique de la contraction du muscle consiste en une fixation de la platine de l'étrier. Ce mécanisme, au dire de l'auteur, arrête la conduction des sons comme la fixation organique de la platine dans l'otosclérose.

Le réflexe stapédial peut être fatigué par des sons continus d'autant plus vite que le son est plus grave.

L'auteur conclut que le réflexe du muscle de l'étrier cons-

titue un mécanisme de protection entrant en jeu automatiquement à la suite d'une irritation cochléaire et qu'il protège l'organe de perception d'une trop forte irritation.

Ces résultats sont donc absolument concordants avec les nôtres, puisque Luscher a vu que l'action du muscle de l'étrier n'affecte en rien le tympan, bloque l'étrier dans la fenêtre ovale et que le raccourcissement musculaire est fonction de l'intensité et de la hauteur.

III. — Interprétation des résultats.

Ces différents graphiques sont, sur bien des points, en désaccord avec la théorie classique. Pour reprendre les propres termes du Rapport au Congrès français d'oto-rhino-laryngologie de 1928, la fonction du muscle de l'étrier est ainsi comprise : « Dans l'attention, sous l'action volontaire et plus ou moins consciente du muscle de l'étrier, la platine de cet osselet bascule en dehors et en arrière, cessant toute compression sur la périlymphe vestibulaire. Ce mouvement de l'étrier se communique à toute la chaîne des osselets et porte en dernier lieu en dehors et en arrière le manche du marteau et, avec lui, le tympan, dont il est solidaire. La tension de la membrane se trouve réduite au minimum, et son segment postérieur, encore plus détendu, bombe légèrement vers le conduit auditif. »

Nos expériences sont en opposition avec cet énoncé. Nous avons vu que la contraction du muscle porte l'osselet en arrière et un peu en dedans, et que la branche verticale de l'enclume ne participe en aucune manière à ce déplacement. Tandis que la théorie classique émet l'hypothèse de la bascule de l'étrier décompressant le labyrinthe, nos expériences nous montrent que la contraction du muscle de l'étrier enfonce cet osselet dans la fenêtre ovale et l'y immobilise. Il y a blocage de la fenêtre ovale et, par conséquent, augmentation de l'inertie mécanique du système.

Nos graphiques montrent surtout que la contraction du muscle de l'étrier est en fonction directe de l'intensité sonore. Ainsi la doctrine classique du muscle de l'étrier considéré comme muscle qui écoute paraît bien fragile. Il paraît beaucoup plus probable que la fonction du muscle de l'étrier soit une action de protection du labyrinthe contre les traumatismes provoqués par l'intensité et la hauteur sonore. Plus l'intensité est forte, plus le muscle met de force à se contracter. Cela jusqu'à une certaine valeur d'énergie sonore, au-dessus de laquelle on observe la même réponse du muscle quelle que soit l'intensité du son émis.

Le champ des intensités jusqu'à cette dernière réalise l'échelle des bruits de la vie courante. Le muscle de l'étrier est adapté à la protection contre les sons d'énergie modérée.

Le muscle du marteau a soulevé moins de discussions. La théorie classique a établi son action par une étude serrée de son anatomie.

Nos résultats sont en conformité avec ceux du rapport de 1928 et montrent que la contraction du muscle du marteau tire cet osselet en dedans, et tend le tympan.

Nos résultats sont en désaccord avec la doctrine classique pour une question de degré. En effet, pour les excitations sonores les plus fortes, au point que la pénétration dans la salle d'expérimentation provoquait une sensation pénible, nous n'avons pas vu le sommet du tympan être enfoncé dans la caisse de plus de la soixante-quinzième partie du diamètre de la membrane. Cette proportion est très faible. Peut-être est-elle moins forte chez le lapin que chez l'homme, par suite d'une structure du tympan moins riche en fibres élastiques.

De même, alors que les classiques assignent à l'enclume un important mouvement de bascule, nous n'avons trouvé que des déplacements très faibles de cet osselet, et qui ne sont plus mesurables au niveau de la branche verticale. Ainsi, la notion du muscle du marteau enfonçant l'étrier dans la fenêtre ovale n'est pas vérifiée. Si réellement cette action existe, elle est très réduite comparativement à celle du muscle de l'étrier.

Or, si nous comparons les courbes de contraction (graphique n° 1, p. 49), nous voyons que le muscle de l'étrier se contracte pour les intensités faibles, intensités qui ne provoquent encore aucune contraction du muscle du marteau. Quand l'intensité sonore devient plus forte, on obtient de ce dernier une réponse réflexe, et la contraction des deux muscles dure autant que l'excitation auditive.

On peut conclure que la contraction du muscle de l'étrier représente un réflexe de défense adapté aux sons d'intensité moyenne ou faible.

Le muscle du marteau constitue un appareil de défense supplémentaire quand l'action du muscle protecteur principal, le muscle de l'étrier, n'est plus suffisante. C'est le muscle de défense de renfort.

Il y a donc action synergique de ces deux muscles. Tous deux protègent l'oreille interne, en augmentant l'inertie de l'oreille moyenne.

Nous lisons également sur les graphiques que les muscles se contractent davantage à mesure que croissent la hauteur et l'intensité. Or hauteur et intensité constituent les qualités physiologiques du son. Si l'on compare la courbe de contraction des muscles aux graphiques de Janovski, représentant la sensibilité de l'oreille à la gamme des fréquences, on voit qu'il y a similitude des courbes. La contraction des muscles est exactement parallèle à la perception du son. Plus le son est fortement perçu, plus le muscle met de force à se contracter.

L'oreille moyenne, de même que l'oreille interne, a comme tous les instruments acoustiques, un véritable réglage de vibration optimum. Au-dessus et au-dessous, il n'y a plus d'accord aussi parfait entre l'onde sonore et l'élément nerveux qui la perçoit. Peut-être peut-on faire intervenir, de plus, pour la VIII^e paire, la notion de chronaxie, par analogie avec les notions de Bourguignon exposées récemment à propos des nerfs périphériques.

L'observation du réflexe cochléaire renseigne sur la qua-

lité de l'audition de l'animal, et de nouvelles expériences pourront être entreprises en se basant sur les modifications de ce réflexe, après ablation des osselets, en ayant soin de détruire le labyrinthe opposé, ce qui pourra apporter une contribution importante à la question de la conduction ossiculaire du son.

CHAPITRE IV

MOUVEMENTS DES OSSELETS

Interposés entre le tympan et l'oreille interne, les osselets de l'ouïe constituent une chaîne dont les deux extrémités, tympanale et labyrinthique, sont mobiles, et dont la forme peut varier grâce aux deux articulations qui en relient les pièces : l'articulation incudomalléolaire, qui est une énarthrose, et l'articulation incudostapédienne, qui réalise le type de l'amphiarthrose.

Le bloc formé par la tête du marteau, le corps de l'enclume et sa branche horizontale représente une sorte d'éperon s'appuyant par son sommet sur le seuil de l'aditus, et reposant sur deux jambes qui plongent dans la caisse : le manche du marteau et la branche descendante de l'enclume.

Le manche du marteau est inclus dans l'épaisseur de la région moyenne du tympan. Il ne s'appuie sur aucun plan résistant, mais de puissants ligaments le suspendent au toit de la caisse, tout en lui permettant une certaine mobilité. Les deux ligaments antérieur et postérieur sont disposés dans le prolongement l'un de l'autre. Ils constituent une véritable corde tendue d'avant en arrière et contenant dans son épaisseur la base du manche du marteau. Ils représentent l'axe autour duquel s'effectuent les mouvements de rotation de l'osselet, d'où le nom de ligament axile qu'on a pu leur donner. Ils empêchent tout mouvement de bascule du marteau en avant ou en arrière. Le ligament externe du marteau, tendu du col de l'osselet au bord interne du mur de la logette, limite les mouvements de rotation en dedans de la tête du

marteau, et comme l'a montré Helmholtz, protège le ligament axile contre une poussée trop forte en dedans.

Le muscle du marteau constitue un ligament interne actif et s'insère sur le manche de l'osselet en un point situé au-dessous du ligament axile.

Un dernier ligament est constitué par les fibres de la moitié inférieure du tympan, qui, fixées à l'extrémité du manche, limitent par leur tension son déplacement en dedans.

Le marteau est donc attiré en dedans par le tendon de son muscle et retenu en dehors par le ligament externe, le ligament axile et les fibres tympanales.

Au déplacement du tympan en dedans répond un mouvement de bascule du marteau autour de l'axe formé par les ligaments antérieur et postérieur. La partie inférieure du manche se porte en dedans, tandis que la tête de l'osselet se porte en dehors et tend à entraîner l'enclume. Nous avons vu, en étudiant le muscle du marteau, quelle est la modalité de ce déplacement et sa grandeur.

L'articulation incudomalléolaire est lâche et peut jouer dans une certaine limite. Aussi l'enclume ne suit-elle pas les mouvements de faible amplitude exécutés par la tête du marteau.

Nous n'avons jamais observé de déplacement de la branche verticale de l'enclume. Jamais nous n'avons observé cette translation en dedans, que décrivent les classiques. Ce mouvement, s'il existe, doit être d'amplitude très faible, et ne dépasse pas 7 à 8 μ .

Quant aux mouvements de l'étrier, nous les avons étudiés en détail avec la fonction du muscle inséré sur cet osselet. Nous n'y reviendrons pas, car, nous le verrons plus loin, l'étrier n'a d'autres mouvements que ceux communiqués par son muscle. Il ne procède en rien des déplacements des autres osselets.

Les mouvements de la chaîne sont de trois ordres :

- a) Le manche du marteau étant étroitement lié au tympan en épouse les moindres déformations et les transmet, dans une certaine mesure, au labyrinthe;

- b) Les sons doivent provoquer des vibrations dans les osselets, et, comme la dimension de ces derniers est très petite par rapport à la longueur moyenne des ondes sonores, si réellement ils sont traversés par une vibration sonore, on doit observer des déplacements au microscope;
- c) Enfin la chaîne est sollicitée par les muscles internes de la caisse, qui la déforment jusqu'à ce que l'action frénatrice des ligaments se fasse sentir.

a) MOUVEMENTS TRANSMIS PAR LE TYMPAN.

Il est une première catégorie de mouvements que notre mode expérimental empêche d'observer : ce sont les mouvements d'incurvation du tympan dus à la variation de pression extérieure. Comme nous ouvrons la cavité de l'oreille moyenne, la pression est la même sur l'une et l'autre face de la membrane et empêche d'observer ces déplacements, sur lesquels a insisté Gellé. Le refoulement du tympan sous l'influence des variations de pression de l'air adjacent peut avoir lieu dans les deux sens, suivant le siège et le sens de ces variations dans le conduit auditif externe et dans l'oreille moyenne.

Quand la cause du refoulement cesse, l'élasticité des membranes et des ligaments rétablit les rapports primitifs. N'ayant pu observer ces mouvements expérimentalement, nous n'en parlerons pas plus longuement.

b) MOUVEMENTS PROVOQUÉS PAR LES VIBRATIONS SONORES.

Une deuxième catégorie de mouvements doit être provoquée par la vibration tympanale sous l'influence des sons. Une telle assertion demande une vérification minutieuse, car elle a provoqué des débats théoriques interminables. Longtemps, on a discuté pour savoir si la vibration sonore arrivait à la paroi labyrinthique sous la forme molaire ou moléculaire. Bonnier pense que l'onde sonore, parvenant au

tympan, imprime à la membrane un ébranlement qui sollicite l'inertie de ses parties les plus libres, avec maximum à l'umbo. De telle sorte qu'un stylet inscripteur peut enregistrer les déplacements.

Bonain pense, au contraire, qu'il y a simple ébranlement vibratoire des molécules successives rencontrées, de telle sorte que le son se propage sans laisser de trace macroscopique de son passage. A l'appui de cette thèse, on cite l'expérience du chanteur, dont la voix ne fait pas bouger la flamme d'une bougie placée à faible distance de sa bouche.

Il est possible cependant qu'avec un instrument d'optique approprié on puisse mettre en évidence de faibles oscillations de cette flamme. Il n'existe pas deux formes d'ébranlement vibratoire, molaire et moléculaire; en réalité, la vibration sonore est une.

Les vibrations sonores sont réfléchies par le pavillon vers le méat auditif, parcourent le conduit auditif externe et arrivent au tympan. Il est probable qu'elles impriment à cette membrane des oscillations périodiques de très faible amplitude qui reproduisent leur propre rythme avec toutes les qualités tonales. Le manche du marteau doit présenter solidairement les mêmes oscillations. Sur ce point, tout le monde est d'accord. Mais tandis que certains auteurs admettent des mouvements oscillatoires réels de la masse des osselets, d'autres soutiennent que les ondes sonores traversent la chaîne à l'état de vibrations solidiennes purement moléculaires, d'autres, enfin, pensent que la vibration s'éteint d'elle-même dans la chaîne ossiculaire brisée par deux articulations et qu'aucune énergie sonore n'arrive à la fenêtre ovale.

Nous avons observé au microscope, avec un grossissement de 50, la tête de l'étrier, sur laquelle était disposée une paillette d'or. La source sonore était disposée à l'entrée du pavillon de l'oreille, de façon qu'il recueille le maximum d'énergie vibratoire. Nous avons émis successivement des sons aigus et des sons graves. Jamais nous n'avons vu d'os-

cillation de la tête de l'étrier, jamais nous n'avons constaté de flou sur les contours de la tâche lumineuse. Il n'existe donc pas de mouvements de masse visible avec notre procédé transmettant la vibration sonore à la fenêtre ovale. Si un tel mouvement existe, son amplitude est inférieure à $8\ \mu$. Nos résultats sont, en cela, en désaccord avec ceux de Politzer, qui, expérimentant sur le cadavre humain, fixa aux osselets une paille de riz et put obtenir, enregistrées sur un cylindre tournant, les vibrations correspondant à des sons de différentes hauteurs. Buck observa au microscope, sur une préparation anatomique, les oscillations des osselets produites par des sifflements forts émis dans la direction du conduit.

Ces différentes expériences faites sur le cadavre font abstraction de la tonicité musculaire et ligamenteuse; il leur manque donc un facteur d'authenticité important.

Le fait que nous n'avons jamais observé de déplacements vibratoires de l'étrier pendant les sons, même intenses, semble prouver que la conception ancienne de la transmission au labyrinthe des sons par un mouvement alternatif de piston de la platine de cet osselet dans la fenêtre ovale, comprimant périodiquement le liquide labyrinthique, doit être rejetée. Au surplus, l'esprit conçoit mal la réalisation d'une telle vibration, malgré l'inertie du liquide labyrinthique et des ligaments stapédovestibulaires.

Mais de ce que l'étrier ne livre à nos yeux aucun déplacement vibratoire, devons-nous conclure à son inutilité dans la transmission sonore ? Devons-nous, avec Bonain, penser que l'air de la caisse est l'unique vecteur du son et que la fenêtre ronde constitue l'unique voie d'accès des ondes au labyrinthe ?

Pour répondre à cette question, un premier problème se pose : le tissu osseux conduit-il le son, et comment ? Les expériences de Frey, puis d'Yvanoff, en 1903, ont montré que, sur les os secs et longs comme le fémur, si l'on applique à une des extrémités un diapason vibrant et à l'autre un

entonnoir, on entend pendant cinq à huit secondes un son très haut, dont l'intensité va en s'affaiblissant pendant une quinzaine de secondes.

Sur des os frais, récemment préparés et contenant de la moelle, le son est beaucoup plus faible, la durée de la vibration est moindre et l'affaiblissement plus graduel. Le tissu osseux compact conduit mieux le son que l'os spongieux.

Enfin, sur les os pathologiques, la conductibilité est plus faible pour les os sclérosés que pour ceux atteints d'ostéoporose.

Au point de vue de la hauteur du son, l'os transmet les fréquences de 100 à 1.000 périodes par seconde; au delà de l'ut₅ les vibrations ne passent plus.

On voit donc que l'os frais est mauvais conducteur du son et ne peut transmettre les fréquences au delà de la quatrième octave.

Mais ces expériences de Frey et Yvanoff sont faites sur des os longs, uniques, donc absolument différents du système articulé des osselets.

Le jeu des articulations paraît incompatible avec la vitesse de succession des ondes sonores. Ce jeu, acceptable à la rigueur pour les sons les plus bas, devient inacceptable pour les sons aigus dont la fréquence dépasse plusieurs milliers d'Hertz. Les articulations les plus souples seraient incapables de réaliser une pareille fréquence de mouvements alternatifs.

Si même on pouvait admettre que des pièces glissant les unes sur les autres fussent aptes à transmettre une vibration sonore on concevrait mal que cette vibration soit gênée par le système des ligaments et des muscles. La chaîne est un organe à l'état d'équilibre stable dont les ligaments et leurs antagonistes les muscles règlent la position et cette tension constante s'oppose à la liberté nécessaire à la transmission d'une vibration qui renferme en elle-même aussi peu d'énergie que la vibration sonore.

Beaucoup d'autres études ont été faites pour essayer de

résoudre le problème de la transmission du son au labyrinthe. Aucune ne constitue une preuve décisive.

Cette question est encore du domaine de l'hypothèse.

Qu'il nous soit permis cependant d'émettre une idée. Il nous semble que la question du problème doit pouvoir être trouvée par un mode expérimental. Nous avons vu que le réflexe cochléaire du muscle de l'étrier renseignait sur la perception des sons par l'animal. Si, donc, nous sectionnons la chaîne en un point particulièrement accessible par notre procédé, au niveau de l'articulation incudostapédienne, nous pourrions voir s'il faut des sons beaucoup plus intenses après la section qu'avant pour déclencher le seuil du réflexe.

Ceci, naturellement, après avoir détruit le labyrinthe opposé.

Nous exposerons ultérieurement les résultats obtenus par cette technique.

c) MOUVEMENTS DES AUX MUSCLES.

Nous serons très brefs à ce sujet, puisque nous avons étudié ces déplacements longuement à propos de chacun des muscles.

L'enclume est un osselet immobile; chacun des deux autres osselets joue plus ou moins librement sur elle, selon que son élancement est plus ou moins sollicitée par les muscles et leurs antagonistes les ligaments. L'enclume est donc la pièce centrale de soutien. Sa statique est rapportable au principe dit cantilever des ponts. C'est la pièce cantilever de soutien en porte à faux. Sa statique n'est aucunement modifiée par les mouvements des osselets qui s'articulent sur elle.

Le marteau a des mouvements de translation en dedans surtout marqués au niveau de son manche, ce qui tend plus ou moins le tympan, sur lequel il s'insère.

L'étrier, quand son muscle se contracte, est déplacé en arrière et en dedans, ce qui occasionne, d'une part, de l'hypertension labyrinthique, d'autre part, un blocage de la platine dans la fenêtre ovale.

Ces deux actions se conjuguent de façon à opposer un obstacle aux ondes sonores lors de leur accès au labyrinthe.

Donc, sous l'influence des muscles, les mouvements des deux osselets actifs de l'oreille, par opposition à l'enclume, osselet passif de soutien, sont des déplacements faisant varier l'inertie de la caisse, donc protégeant plus ou moins le labyrinthe contre les traumatismes sonores.

CHAPITRE V.

SENSIBILITE DE L'OREILLE

Dans ce très court chapitre, nous voulons dire un mot des recherches récentes sur la sensibilité de l'oreille selon la hauteur des sons.

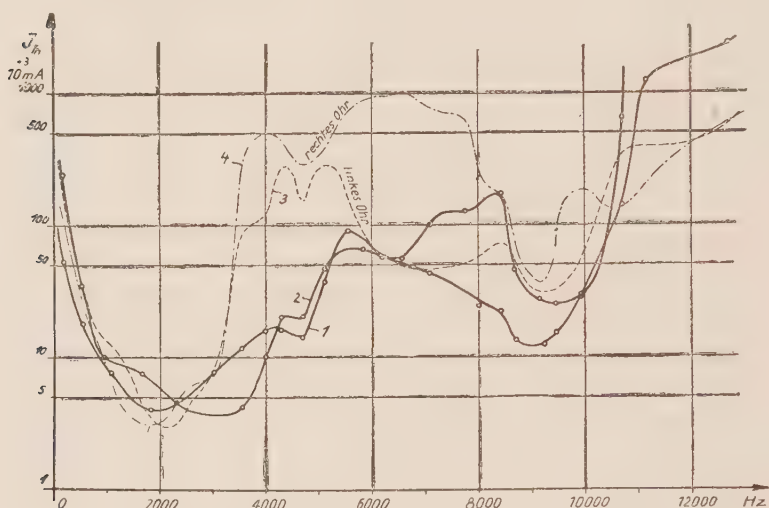
Nous avons été frappé par les nombreux travaux parus dans les revues américaines et allemandes, en particulier dans la *Physical review* de 1922 et 1923.

Là sont exposées les recherches de Fletcher et Wegel sur l'aire d'audition. Ces auteurs tracent une courbe représentant le seuil de l'audition aux différentes fréquences. Ils tracent une seconde courbe supérieure représentant le début de l'audition douloureuse pour chacune de ces fréquences. Les deux courbes limitent un espace représentant le domaine des sons audibles. La courbe d'audibilité minima est une parabole assez régulière dont le sommet répond à la fréquence de 2.048 Hertz (*ut* 6), point de sensibilité maxima de l'oreille.

Récemment, dans l'*Elektrische Nachrichten Technik* de novembre 1929, Janovski, de Dresde, a publié une étude précise de la sensibilité de l'oreille. Cette sensibilité augmente progressivement de 32 à 2.000 Hertz, puis diminue au delà de ce chiffre jusqu'aux environs de 6.000 Hertz, augmente encore jusque vers 9.000 Hertz et décroît enfin rapidement.

Janovski a consigné ses résultats sur le graphique ci-joint. Il porte en abscisses les fréquences en Hertz; en ordonnées, il porte l'intensité du courant alimentant le thermophone, et qui est d'autant plus faible que l'oreille est plus sensible.

Une baisse de la courbe répond donc à une augmentation de la sensibilité de l'oreille.



GRAPHIQUE 3 (Janovski). — Sensibilité de l'oreille
suivant la hauteur des sons.

Il est intéressant de comparer ces résultats aux nôtres. Dans l'intervalle 100-6.000 Hertz, la courbe de Janovski est absolument superposable à la nôtre, ce qui signifie que la contraction des muscles de la caisse est proportionnelle au degré de perception physiologique du son.

Enfin, il est un dernier point sur lequel nous voudrions insister, c'est la notion de limite supérieure ou inférieure des sons pour une oreille.

Nos différents tableaux montrent qu'un son dont la hauteur est éloignée de l'intervalle 2.000-4.000 Hertz n'est perceptible qu'avec une certaine intensité. On ne peut donc pas fixer une limite supérieure et inférieure des fréquences audibles, puisqu'en diminuant ou en amplifiant l'intensité du son on restreint ou on augmente le nombre de ces fréquences.

On ne peut donc fixer de limite supérieure et inférieure de l'audition qu'autant qu'on indique à côté l'intensité à laquelle ces deux limites correspondent.

CONCLUSIONS

Avec des bases physiques rigoureuses et une technique permettant d'exposer la cavité de l'oreille moyenne sans en léser aucun organe noble, on arrive aux conclusions suivantes :

I. — Le muscle du marteau a pour action de mettre en tension la membrane du tympan. Le sommet du cône tympanal n'est pas déplacé en dedans de plus de la 75^e partie de son diamètre. La contraction n'a aucune action sur l'étrier.

II. — Le muscle de l'étrier a pour action d'enfoncer et de bloquer l'étrier dans la fenêtre ovale. Ce mouvement se produit à la faveur d'une subluxation de la tête de l'étrier sur la branche verticale de l'enclume, cette dernière n'étant en aucune manière affectée par le mouvement.

III. — La contraction de ces deux muscles est proportionnée à l'intensité des sons et à leur hauteur. Le muscle de l'étrier est adapté aux sons d'intensité modérée. Le muscle du marteau, au contraire, répond aux intensités plus fortes et son action vient suppléer celle du muscle de l'étrier, arrivé rapidement à son maximum de contraction.

IV. — Les deux muscles sont des protecteurs du labyrinthe contre les traumatismes sonores. Le muscle de l'étrier est le protecteur principal, le muscle du marteau est le protecteur de renfort.

V. — Nous n'avons jamais observé de déplacements vibratoires de l'étrier. Ces mouvements, s'ils existent, ont une

amplitude inférieure à 8 μ . Dans l'état actuel de nos connaissances, on ne peut pas préciser de façon certaine la voie d'accès des sons au labyrinthe.

VI. — L'oreille a un maximum de sensibilité pour la fréquence de 2.000 Hertz. Au-dessous et au-dessus de ce chiffre, la perception des sons diminue, avec, cependant, une augmentation de sensibilité aux environs de 10.000 Hertz.

VII. — On ne peut pas parler de façon absolue de limite supérieure et inférieure de perception des fréquences. Tel son, non perceptible avec une certaine intensité, pourra être perçu si cette dernière augmente.

Vu : *Le Doyen,*

C. SIGALAS.

VU, BON A IMPRIMER :

Le Président,

G. PÖRTMANN.

VU ET PERMIS D'IMPRIMER :

Bordeaux, le 26 novembre 1931.

Pour le Recteur de l'Académie :

Le Vice-Président du Conseil de l'Université,

C. SIGALAS.

BIBLIOGRAPHIE

I. — PARTIE PHYSIQUE

- BACKAUS. — Ueber Geigenklänge. *Rs. f. Techn. Phys.*, 8 1927, 509-515.
- BEKESY (VON). — Distorsion non linéaire. *El. Wachr. Techn.*, 5, 6 : mai 1928.
- BOSTWICK. — Haut-parleurs. *Bell Syst. Techn. J.*, 8, janv. 1929, 135-158.
- BOUASSE. — Acoustique (Delagrave).
- CANAC. — Filtres acoustiques. *J. de phys.*, 7, juin 1926, 161.
— Mesures d'intensité. *Revue générale électr.*, 14 sept. 1926.
- CHAVASSE et GOSSELIN. — Microphone à quartz. *Ann. P.T.T.*, 19 fév. 1926, p. 207.
- CRANDALL. — The sounds of speech. *Bell Syst. Techn. J.*, 4, 1925, p. 586.
- CRANDALL, MACKENSIE. — Energie de la parole. *Phys. Rev.*, 19, 1922, p. 221.
- DAVID (P.). — Filtres acoustiques. *Onde électrique*, janv. 1927.
- EALLESU. — L'acoustique nouvelle. *Proc. Phys. Soc.*, 41, 1929, p. 231.
- FLETCHER. — The nature of speech. *J. Franklin Inst.*, 193, 1920, p. 729.
- FLETCHER, WEGEL. — Sensitivity of ears. *Phys. Rev.*, 19, 1922, 553.
- HANNA. — Formules haut-parleurs. *J. Am. Inst. El. Eng.*, 47, avril 1928, 258.
- JANOVSKY. — Audibilité des distorsions. *El. Wachr. Techn.*, 6, nov. 1929, p. 421-439.
- KELLOG. — Phonographe électrique. *J. Am. Inst. El. Eng.*, 46, oct. 1927, p. 1041.
- KINGSBURY. — Sensibilité de l'oreille. *Phys. Rev.*, 29, 1927, p. 373.

- KRAUX. — Sensibilité de l'oreille. *Phys. Rev.*, 1923, p. 573.
- RAYLEIGH. — Theory of sound. Londres, 1926.
- SIVIAN. — Disque de Rayleigh. *Phil. Mag.*, 5, mars 1928, 615-620.
- STEWART. — Filtres acoustiques. *Phys. Rev.*, 20, 1922. p. 528; 22, 1923, p. 502, etc.
- TOULON. — Evolution des haut-parleurs. *Onde électrique*, sept. 1928, p. 393.
- TRENDELENBURGH. — Electro-acoustique. *Zs. Hfr. Techn.* 32, juill. à déc. 1928, 27-34, 94-99, 131-135, 173-179, 202-206.
- Thermophone. *Wis. Ver. Siemens. K.*, 3, 1923, 212-225.
- WEICHART. — Microphones. *Zs. Hfr. Techn.*, 28 oct. 1926, 413-448.
- WOLF. — Essai des haut-parleurs. *Proc. Inst. Rad. Eng.*, 16, déc. 1928, 1729-1741.

II. — PARTIE PHYSIOLOGIQUE.

- ADLER. — Eine Rithmustheorie des Hörens. *Zeitschr. f. Hals-Nasen. u. Ohrenheilk.*, 41, p. 143.
- ALEXANDER u. MARBURG. — Handbuch d. Neurologie des Ohres, Bd. I. Berlin-Wien, 1924.
- BARANY. — Versuche über die Wirkung des künstlichen Trommelfells. *Verhandl. d. dtsh. Otol. Ges.*, 1910, p. 81.
- BARD. — Des diverses modalités des mouvements de la chaîne des osselets et de leur rôle dans l'audition. *Journ. de physiol.*, 1905, p. 665.
- De l'orientation auditive latérale. *Semaine médicale*, 28 sept. 1904.
- De l'existence et du mécanisme de l'orientation auditive à distance. *Journ. de physiol. et pathol. générales*, 1904.
- De l'accommodation auditive, son but et ses diverses modalités. *Rev. méd. de la Suisse romande*, 20 nov. 1904.
- L'orientation auditive angulaire. *Arch. gén. de méd.*, 1905.
- Orientation et accommodation auditive (Réponse au Dr Bonnier). *Arch. intern. d'O.-R.-L.*, 1905, p. 159.
- Orientation et accommodation auditive; Hémidésorientation centrale. *Arch. intern. d'O.-R.-L.*, 1905, p. 837.

- BARTH. — Über Täuschung des Gehörs usw. *Verhandl. d. dtsh. otol. u. Kehlkopfheil.*, 57, p. 52.
- BECKMANN. — Zur Theorie des Hörens. *Verhandl. d. dtsh. Otol. Ges.*, 1898, p. 47.
- BEÜER. — Bedenken zur Helmholtz'schen Schalleitungstheorie. *Verhandl. d. dtsh. Otol. Ges.*, 1911, p. 408.
- Zur Schalleitungsfrage. *Pass. Beitr.*, 6, p. 92.
- BEZOLD. — Lehrbuch der Ohrenheilkunde Wiesbaden, 1906.
- Die Funktionsprüfung des Gehörorgans. Wiesbaden, 1897.
- Eine analyse des Rinneschen Versuchs. *Zeitschr. f. Hals Nasen. u. Ohrenheilk.*, 37, p. 197.
- Über die Funktionsprüfung des menschlichen Gehörgangs. 3 vol., Wiesbaden, 1897-1903-1909.
- Weitere Untersuchungen über Knoche, leitung und Schalleitung apparatim Ohr. *Zeitschr. f. Hals Nasen u. Ohrenheilk.*, 48, p. 107; *Arch. intern. d'O.-R.-L.*, 1905, p. 620.
- BIEHL. — Schädigungen des Labyrinths durch Explosions Wirkung, *Archiv. f. Ohren Nasen u. Kehlkopf.*, 107, p. 37.
- Die auswirkenden Kräfte im Labyrinth. (*Leider stand mir die Originalarbeit nicht zur Verfügung*).
- BLAKE. — Untersuchung. über die Schalleitung im Gehörorgane im Gesunden und Kranken Zustande. *Archiv. f. Ohrheilk.*, t. I.
- BLAU. — Experimenteller Verschluss des runden Fensters. *Verhandl. d. dtsh. Otol. Ges.*, 1905, p. 230.
- BLEYL. — Die funktionnelle Ermüdung des Gehörorgans. *Zeitschr. f. Hals Nasen u. Ohrenheilk.*, 108, p. 192.
- BOCCI. — La théorie de l'audition la plus en rapport avec la morphologie complexe de l'organe de Corti. *Journ. de physiol.* 1913.
- BOENNINGHAUS. — Diskussionsbemerkung. *Verhandl. d. dtsh. Otol. Ges.*, 1908, p. 94.
- Über den jetzigen Stand der Helmholtz'schen Resonanztheorie. *Monatsschr. f. Ohrenheilk. u. Laryngo-Rhinol.*, 40 numéros, 3.
- Lehrbuch der Ohrenheilkunde. Berlin, 1908.

- BONAIN. — Mouvements du tympan à l'état normal et leurs relations avec les échanges gazeux de l'oreille moyenne et des cavités naso-pharyngiennes. *Annales des maladies des oreilles*, 1925, p. 794-791.
- Acoustique et audition. *Annales des maladies des oreilles*, t. XLV, n° 12, 1926.
- Impression de ces éléments. Accommodation auditive. *Annales des maladies des oreilles*, t. XLV, 12, 1926. (Nouvelle théorie de l'audition; pénétration des ondes acoustiques jusqu'aux éléments sensoriels.)
- Comment les sons parviennent-ils à l'oreille interne? *Presse méd.*, n° 75, 17 sept. 1924.
- Contribution à la physiologie de l'oreille; du rôle des arcanes de Corti dans l'audition. *Annales des maladies de l'oreille*, n° 5, 1928, p. 473.
- Une explication du résultat des épreuves auditives par les diapasons, et de la paracousie de Willis, dite surdité paradoxale. *C. r. des séances de la Soc. française*, oct. 1925.
- De la résonance acoustique dans le mécanisme de l'audition et de la dissociation des ondes sonores par diffraction à travers les réseaux latéraux du tunnel de Corti. *Arch. intern. d'O.-R.-L.*, n° 3, 1928.
- La physiologie de l'audition. Rapport du Congrès de la Soc. française d'O.-R.-L., 1928.
- BONNIER. — L'orientation auditive. *Bull. scientifique du département du Nord*, 1884.
- L'orientation auditive. Soc. de biol., 6 avril 1894.
- Le sens auriculaire de l'espace. Thèse Paris, 14 mai 1890.
- Sur les fonctions tubo-tympaniques. Soc. de biol., 26 nov. 1892.
- Sur l'inertie des milieux auriculaires. Soc. de biol., 23 fév. 1895.
- Fonctions de la membrane de Corti. Soc. de biol., 23 fév. 1895.
- Le limaçon membraneux considéré comme appareil enregistreur. Soc. de biol., 25 fév. 1895.

- BONNIER. — De la nature des phénomènes auditifs. *Bull. scientifiques du Nord et de la Belgique*, 11 mai 1895.
- Les dernières théories de l'audition. Soc. d'otologie de Paris, avril 1896; *Arch. de laryngol. et d'otol. de Paris*.
- L'oreille (Physiologie et fonctions, t. I; Physiologie, physiogénie, mécanisme, t. II).
- L'audition. Masson, Paris, 1901.
- L'audition stéréacoustique. *Arch. intern. d'O.-R.-L.*, nov. 1896.
- Das Hören. *Arch. internat. de laryngol., otol.-rhinol. et broncho-cœsophagoscopie*, janv. 1904; beides refer. in *Internat. Zentralbl. f. Ohrenheilk.*, 2, p. 343.
- Accommodation auditive. Réponse à M. le Professeur Bard. *Arch. intern. d'O.-R.-L.*, 1905, p. 806.
- La théorie de Guillemin. *Arch. intern. d'O.-R.-L.*, 1905, p. 817.
- Réponse au Professeur Guillemin. *Arch. intern. d'O.-R.-L.*, 1905, p. 524.
- BRUHL. — Postmortale Veränderungen des Corti-Organ der Menschen. *Verhandl. d. dtsh. Otol. Ges.*, 1913, p. 372.
- BRUNINGS. — Diskussionsbemerkung. *Verhandl. d. dtsh. Otol. Ges.*, 1910, p. 68.
- Über die sog. Knochenleitung usw. *Verhandl. d. dtsh. Otol. Ges.*, 1910, p. 165.
- Versuche über labyrinthäre Interferenz. *Verhandl. d. dtsh. Otol. Ges.*, 1913, p. 437.
- BRYANT. — Über die Klaviersaiten-Theorie der Basilarmembran. *Arch. of Otol.*, avril 1908; Refer. *Internat. Zentralbl. f. Ohrenheilk.*, 7, p. 281.
- Die Lehre von den schallempfindlichen Haarzellen. *Archiv. f. Ohren, Nasen u. Kehlkopfheilk.*, 79, p. 93.
- Die Schnecke und ihre verallgemeinerte Empfindlichkeit für Toneindrücke. *Archiv. f. Ohren, Nasen u. Kehlkopf.*, 76, p. 44.
- BUCH (A. H.). — On the Mechanism of Hearing. *New-York Med. Journ.* 1874.

- CHEVAL. — Physiologie de la VIII^e paire. *Bull. de l'Acad. royale de Belgique*, 1919.
- CHLADNI. — *Die Akustik*. Leipzig, 1802 et 1830.
- CLAUS. — Über die physiologische Form des Weberschen Versuchs. *Pass. Beitr.*, 2, p. 463.
- CORRADI. — Über die Funktionelle Wichtigkeit der Schnecke. *Archiv. f. Ohren, Nasen u. Kehlkopfheilk.*, 30, p. 1.
- Zur Prüfung der Schallperzeption durch die Knochen. *Archiv. f. Ohren, Nasen u. Kehlkopfheilk.*, 30, p. 173.
- COTUGNO. — De aquæ ductibus auris human. int. Naples, 1760.
- DEMETRIADES. — Experimentelle Untersuchung über die Bedeutung des Vasomotor für Schädelresonanz und Kopfknochenleitung. *Archiv. f. Ohren, Nasen u. Ohrenheilk.*, 9, p. 296.
- DE CIGNA. — Discussion sur la fonction acoustique et vues personnelles. *Arch. intern. d'O.-R.-L.*, 1913, t. XXXIV, p. 779; t. XXXV, p. 131; t. XXV, p. 470; t. XXXV, p. 798.
- DENKER u. BRUNINGS. — Lehrbuch der Krankheiten des Ohres usw. Jena, 1923.
- DENKER. — Das Gehörorgans usw. der Papageien. Wiesbaden, 1907.
- Zur Funktion der Schnecke usw. *Verhandl. d. dtsh. Otol. Ges.*, 1910, p. 70.
- Welche Elemente des Gehörorgans können wir bei Erlernung der menschlichen Sprache entbehren? *Verhandl. d. dtsh. Otol. Ges.*, 1903, p. 65.
- DENNERT. — Akustisch-physiologische Untersuchungen. *Archiv. f. Ohren, Nasen u. Kehlkopfheilk.* 24, p. 171.
- Akustisch-physiologische Untersuchungen. *Archiv. f. Ohren, Nasen u. Kehlkopfheilk.*, 29, p. 68.
- Akustisch-physiologische Untersuchungen. *Verhandl. d. dtsh. Otol. ges.*, 1898, p. 35.
- Akustisch-physiologische Untersuchungen. *Verhandl. d. dtsh. Otol. Ges.*, 1901, p. 158.
- Akustische-physiologische Untersuchungen. *Verhandl. d. dtsh. Otol. Ges.*, 1903, p. 69.
- Akustische-physiologische Untersuchungen. *Verhandl. d. dtsh. Otol. Ges.*, 1907, p. 116.

- DENNERT. — Zur Frage der Schallübertragung im Gehörorgan. *Arch. f. Ohren, Nasen u. Kehlkopfheilk*, 78, p. 197.
- Zur physiologie der Schallauslösung im Gehörorgan. *Verhandl. d. dtsh. Otol. Ges.* 1910, p. 41.
- EBBINGHAUS. — Zit. nach Schaefer, Grundz. d. Psychol. I, p. 317, Leipzig, 1902.
- V. EICKEN. — Zur Frage der akustischen Schädigung des Ohrlabyrinths. *Verhandl. d. dtsh. Otol. Ges.*, 1911, p. 414.
- ELLIS. — Akustische Untersuchungen. Jena, 1879, p. 6.
- EWALD. — Zur physiologie des Labyrinths. *Pflügers Arch. f. d. ges. Physiol.*, 76, p. 147.
- Zur Physiologie des Labyrinths. *Pflügers Arch. f. d. Ges. Physiol.*, 93, p. 485.
- Nouvelles recherches pour localiser dans l'oreille les points d'accès des ondes sonores correspondant aux différents sons. *Archives f. die gesante Physiol.*, 188, 199, 1910; *Refer. Journ. de physiol.*, 1910.
- EWALD et IAEDERDOHM. — Tous les bruits, lorsqu'ils deviennent intermittents, produisent des sons intermittents (battements). *Archiv. f. die Ges. Physiol.*, 1906, 555-563.
- EXNER. — Experimentelle Untersuchungen der einfachsten psychologischen Prozesse. *Pflügers Arch. f. d. ges. Physiol.*, II, p. 403.
- Zur Lehre von den Gehörsempfindungen. *Pflügers Arch. f. d. Ges. Physiol.*, 13, p. 228.
- EXNER u. POLLAK. — Beiträge zur Resonanztheorie der Tonempfindung. *Zeitsch. für Physiol. u. Psychol. u. Sinnesorg.*, 32, p. 305.
- FETZER. — Über Widerstands fähigkeit von Klängen usw. *Pflügers Arch. f. d. Ges. Physiol.*, 100, p. 298.
- FICK. — Betrachtungen über den Mechanismus des Paukenfells. *Archiv. f. Ohren, Nasen u. Kehlkopfheilk*, 24, p. 167.
- FOURIER. — Théorie analytique de la chaleur. Paris, 1822.
- FRANK. — Die Leitung des Schalles im Ohr *Sitzungsber. d. bayr. Ak. d. Wiss.*, 1923, p. 11-77.
- FREY. — Zur Mechanik der Gehörknöchelchenkette. *Verhandl. d. dtsh. Otol. Ges.*, 1910, p. 113.

- FREY. — Die Ankylose des Hammer-Ambos-gebenkes. *Arch. intern. d'O.-R.-L.*, 1903, p. 611.
- FRÜTIGER. — Über die funktionelle Bedeutung der fenestra rotund. *Zeitschr. f. Ohren, Nasen u. Kehlkoptheilk.*, p. 247.
- GELLE. — L'audition et ses organes. Alcan, Paris.
- L'audition. Dictionnaire de physiologie de Charles Richet, 1895.
- De la conversation et de l'audition, malgré l'ankylose de l'étrier. *Arch. Internat. d'O.-R.-L.*, t. X, 1897.
- GOEBEL. — Über die Hörtätigkeit des menschl. Vorhofs. *Arch. f. Ohren, Nasen u. Kehlkoptheilk.*, 93.
- Über die Tätigkeit des menschlichen Hörorgans. *Internat. Zentralbl. f. Ohrenheilk.*, 11, p. 31.
- Existiert in der Hammerambos Synchronose ein Sperrmechanismus im Sinne von Helmholtz? *Pass. Beitr.*, 3, p. 385.
- GARRAN et BALZAN. — Théorie physique de l'audition. Thèse de concours, Paris, 1878.
- GLEY. — Traité élémentaire de physiologie, t. II, Paris, 1910.
- GOERKE. — Neue Arbeiten zur Resonanzhypothese. *Intern. Zentrall.*, 8, p. 105.
- GRADENIGO. — Est-ce vraiment à Helmholtz qu'on doit attribuer la théorie de l'audition qui porte son nom? *Arch. ital. de Biol.*, LXIX, 33-47.
- La teoria sulla audizione Colugno Helmholtz. *Gior. di Accad. di Med. de Torino*, 1917, 4s., XXIII-217-219.
- Sur les fonctions du labyrinthe. *Arch. ital. de Biol.*, 206-208, LXVIII.
- Sur la fonction du pavillon de l'oreille chez l'homme. *Arch. intern. d'O.-R.-L.*, 1904, n° 4.
- GRAY. — Les théories de l'audition. *Journ. of. Laryng., rhin. and otol.*, juin 1909.
- A restatement of the resonance theory of hearing. *Acta Otolaryng.*, 1927, p. 34.
- GUILLEMIN. — Sur la théorie de l'audition. Réponse au Dr Bonnier. *Arch. intern. d'O.-R.-L.*, 1903, p. 843.
- Réponse au Dr Bonnier. *Arch. intern. d'O.-R.-L.*, 1903, p. 219.

- HABERMANN. — Beiträge zur Lehre der professionellen Schwerhörigkeit. *Verhandl. d. dtsh. Otol. Ges.*, 1906, p. 254.
- Über die Schwerhörigkeit der Kesselschmiede. *Arch. f. Ohren, Nasen u. Kehlkopfheilk.* 30, p. 1.
- HARLES. — Hören. In Wagners Handb. d. Phÿsiol., Bd. IV. Braunschweig, 1853.
- HEINRICH. — Sur la fonction de la membrane du tympan. *Bull. de l'Acad. des sciences de Cracovie*, juill. 1903; Refer. *Intern. Zentralbl. f. Ohrenheilk.* 2, p. 426.
- HELD. — Die Sinneshaare des Cortischen Organs und ihre Beziehung zur Membr. Tectoria. *Zeitschr. f. Ohren, Nasen u. Kehlkopfheilk.* 9, p. 279.
- HELMOLTZ (V.). — Die Lehre von den Tonempfindungen. Braunschweig, 1896, 5. Aufl.
- Über die Schallschwingungen in der Schnecke des Ohres. 1869.
- Die Mechanik der Gehörknöchelchen und des Trommelfells. *Pflügers Arch. f. d. Ges. Physiol.* 1869.
- Traduction de Rattel, Paris, 1886 : Mécanisme des osselets de l'ouïe et de la membrane du tympan.
- HENSEN. — Physiologie des Gehörs in Hermanns Handb. d. Psychol., Bd. III. Leipzig, 1880.
- Studien über die Gehörorgane der Dekapoden. Leipzig, 1863; Refer. v. Dennert. *Verhandl. d. dtsh. Otol. Ges.* 1898.
- Das Verhalten des Resonanzapparates im menschlichen Ohr. *Ber. d. Berl. Akad. Wiss.*, 24. juill. 1902. Refer. *Archiv. f. Ohren, Nasen u. Kehlkopfheilk.*, 37, p. 146.
- HERRMANN. — Zur Physiologie des Ohrens. *Archiv. f. Ohren, Nasen u. Kehlkopfheilk.*, 37, p. 146.
- Zur Theorie der Kondinationstöne. *Pflügers Arch. f. d. Ges. Physiol.*, 49, p. 499.
- HERZOG. — Diskussionsbemerkungen. *Verhandl. d. dtsh. Otol. Ges.*, 1910, p. 87.
- HESSLER. — Beiträge zur Physiologie des Ohres. *Archiv. f. Ohren, Nasen u. Kehlkopfheilk.*, 18, p. 233.
- HOBER. — Physikalische Chemie der Zelle. Leipzig, 1914.

- HOSSLI. — Experimentell erzeugte Schwerhörigkeit. *Verhandl. d. dtsh. Otol. Ges.*, 1913, p. 28.
- HURST. — A new theory of hearing. *Transact Liverpool Biol. Soc.*, vol. IX, déc. 1895.
- JAKOBSON u. BLAU. — Lehrbuch der Ohrenheilkunde. Leipzig, 1902.
- JOSHI. — Experimentelle Untersuchung über die Schädigung des Gehörorgans durch Schall. *Zeitschr. f. Hals. Nasen, u. Ohrenheilk.* 58, p. 201.
- KARLEFORS. — Die Hirnhauträume usw. und die Aquaeductus cochleae beim Menschen. Suppl. IV d. *Acta otolar.*, 1924.
- KAYSER. — Über akustische Erscheinungen in flüssigen Medien. *Zeitschr. f. Hals. Nasen u. Ohrenheilk.*, 37, p. 217.
- KIMURA. — Beiträge zur experimentellen Schallschädigung. *Zeitschr. f. Hals. Nasen u. Ohrenheilk.*, 8, p. 13.
- KLEINSCHMIDT. — Über die Schalleitung zum Labyrinth durch die demselben vorgelagerte Luftkammer. *Zeitschr. f. Hals. Nasen u. Ohrenheilkunde*, 39, p. 200. Luftkammer.
- KISCH. — Physiologie des usseren und mittleren Ohres in Alexander Marburg. *Handb. d. Neurologie d. Ohres*.
- KISHI. — La membrane de Corti et la théorie de l'impression sonore. *Journ. physiol.*, 1907; *Archiv. f. die Gesamnte physiol.*, 1907.
- KOHLER. — Über die Funktion des Trommelfells. *Berl. Otol. Ges.*, janv. 1910; *Refer. Internat. Zentralblatt. f. Ohrenheilk.*, 8, p. 246.
- KORNER. — Lehrbuch der Ohren-usw. Krankheiten. Wiesbaden, 1920
- KOLMER. — « Mikroskopische Anatomie des nervösen Apparates des Ohres » in 2, Alexander usw.
- KREIDL. — « Physiologie des inneren Ohres » in 2. Alexander usw.
- KUILE (TER). — Die Übertragung der Energie von der Grundmembran auf die Haarzellen. *Pflügers Archiv. f. d. Ges. Physiol.*, 79, p. 146.
- Die richtige Bewegungsform der Membr. basilar. *Pflügers Arch. f. d. Ges. Physiol.*, 79, p. 484.
- LUCAE et POLITZER. — Untersuchungen über die sog. Knochenleitung usw. *Arch. f. Ohren, Nasen u. Kehlkopfheilk.*, I, p. 303 et 318.

- LUCAS. — Zwei physiologisch-akustische Vorträge. *Archiv. Ohren, Nasen u. Kehlkopfheilk.*, 54, p. 268.
- Beiträge zur Schallempfindung. *Archiv. Ohren, Nasen u. Kehlkopfheilk.*, 79, p. 246.
- Über das Verhalten der Schalleitung durch die Luft zur Leitung durch feste Körper. *Archiv. f. Ohren, Nasen u. Kehlkopfheilk.*, 57, p. 1.
- MARAGE. — Rôle de la chaîne des osselets dans l'audition. Académie de Médecine, 1900.
- Quelques remarques sur les otolithes de la grenouille. Institut, 1901.
- Mesure et développement de l'audition. Prix Meynot, 1902.
- Contribution à la physiologie de l'oreille interne. Institut, janv. 1903.
- A propos de la physiologie de l'oreille interne. Institut, mars 1903.
- Action sur l'oreille à l'état pathologique des vibrations fondamentales des voyelles. Institut, fév. 1903.
- Mode d'action des vibrations sur le système nerveux. Institut, fév. 1904.
- Théorie élémentaire de l'audition. Soc. française de physique, 1904.
- Pourquoi certains sourds entendent mieux les sons graves que les sons aigus. Institut, oct. 1903.
- Contribution à l'étude de l'audition. Institut, 12 oct. 1908.
- Fonctionnement de l'oreille à l'état pathologique. Institut, 7 octobre 1910.
- Sensibilité de l'oreille physiologique pour certains sons musicaux. Institut, mai 1914.
- L'audition et ses variations. 1924, Gauthier-Villars, édit., Paris.
- MARX. — Untersuchungen über experimentelle Schädigungen des Gehörorgans. *Zeitschr. f. Hals, Nasen u. Ohrenheilk.* 59, p. 1.
- Unterschiedsschwelle und Resonanztheorie. *Archiv. f. Ohren, Nasen u. Kehlkopfheilk.*, 107, p. 49.

- MARINI. — Sulla fisiologie della cassa del tympano. *Boll. d. m. d. orrechio*, 189, Bruxelles, 1898.
- MASSE. — Organe de l'audition et sens de l'ouïe. Thèse Montpellier, 1869.
- MEYER. — Zur Theorie der Differentialtöne und der Gehörsempfindung überhaupt. *Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorg*, 16, p. I et 352; *Pflügers Archiv. f. d. Ges. Physiol.*, 78, p. 346.
- Über die Intensität der Einzeltöne zusammengesetzter Klänge. *Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorg.*, 17, p. I; *Pflügers Archiv. f. d. Ges. Physiol.*, 81, p. 61.
- MORAT et DOYON. — Traité de physiologie, t. V, Paris, 1918.
- MULLER. — Handbuch der Physiologie des Menschen. II, Coblenz, 1840, et traduit par Jourdan, Paris : « Physiologie humaine ».
- MYGIND. — La théorie de l'audition. *Annales des maladies de l'oreille*, n° 8, 1928, p. 726.
- PIPER. — Aktionsströme von Gehörorgan der Fische bei Schallreizung. *Zentralbl. f. Physiol.*, 1906, Nr. 9; Refer. *Internat. Zentralbl. f. Ohrenheilkunde*, p. pl. 18.
- PANSE. — Zu Js. Adlers Arbeit : I. *Zeitschr. f. Hals. Nasen u. Ohrenheilk.*, 41, p. 309.
- PREYER. — Grenzen der Tonwahrnehmung, janvier 1876.
- *Archiv. f. Ohren, Nasen u. Kehlkopfheilk.*, II, p. 170.
- RAYLEIGH. — Theorie des Schalles. Braunschweig, 1880.
- REINKING. — Zur Frage der Entstehung von Hörschädigungen nach langdauernden Schalleinwirkungen. *Verhandl. d. dtsh. Otol. Ges.*, 1912, p. 165.
- ROUIS. — Recherches sur la transmission du son dans l'oreille humaine, Paris, 1877.
- RUNGE. — Die Bedeutung der Neuroepitheldegeneration usw. *Zeitschr. f. Hals. Nasen u. Ohrenheilk.*, I, p. 166.
- Ein weitere Beitrag zur Genese usw. *Verhandl. d. dtsh. Otol. Ges.*, 1923, p. 248.
- SAVART. — Recherches sur les usages de la membrane du tympan et de l'oreille externe.

- SCHAEFER. — Der Gehörsinn in Nagel. Handb. d. Physiol. d. Mensch. III. Braunschweig, 1903.
- Über die Wahrnehmbarkeit von Kombinationstönen usw. *Pass. Beitr.*, 6, p. 203.
- Über neue Untersuchungen zugunsten der Helmholtzschen Resonanztheorie. *Verhandl. d. dtsh. Otol. Ges.*, 1907, p. 128.
- Die subjektiven Töne und Geräusche usw. *Verhandl. d. dtsh. Otol. Ges.*, 1909, p. 30.
- SCHAEFER et GUTTMANN. — Über Tonunterschiedsempfindlichkeit usw. *Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorg.*, 32, p. 87.
- SCHAEFER et SESSOUS. — Über die Bedeutung des Mittelohrapparates für das Hören usw. *Verhandl. d. dtsh. Otol. Ges.*, 1908, p. 87.
- SCHADE. — Die physikalische Chemie in der inneren Medizin. Leipzig, 1923.
- SCHIEBE. — Diskussions bemerkungen. (*Verhandl. d. dtsh. Otol. Ges.*, 1908, p. 117.
- SCHMIEDEKAN. — Über die Verwerthung der Membrana tympani als phonograph und logograph. *Archiv. für Augen und Ohr.*, 1876.
- SCHULZE. — Die Schwingungsweise der Gehörknöchelchen. *Pass. Beitr.*, 4, p. 161.
- SCHWARZE. — Handbuch der Ohrenheilkunde. Leipzig, 1892.
- SCHWENDT. — Ein unbeabsichtigter Fall von Steigbügelextraktion usw. *Zeitschr. f. Hals. Nasen u. Ohrenheilk.*, 37, p. I.
- SCHWERDTFEGGER. — Die Erkrankungen des Gehörorgans usw. *Arch. f. Ohren, Nasen u. Kehlkopfheilk.*, 109, p. 215.
- SECCHI. — La fenêtre ronde comme voie unique de pénétration des sons dans le labyrinthe, Turin, 1902, et *Arch. intern. d'O.-R.-L.*, t. XV, 1902.
- SCHAMBAUGH. — Zur anatomie der Schnecke in Beziehungen zur Lehre von der Tonempfindung. *Americ. journ. of anat.*, Bd. 71, août 1907; Refer. *Internat. Zentralbl. f. Ohrenheilk.*, 6, p. 133.
- Die Membran, tectoria und die Theorie der Tonempfindung. *Zeitschr. f. Hals. Nasen u. Ohrenheilk.*, 59, p. 159.

- SIEBENMANN et YOSHII. — Demonstration von akustischen Schädigungen des Gehörorgans. *Verhandl. d. dtsh. Otol. Ges.*, 1908, p. 114.
- SOURDILLE. — Thèse Paris, 1914-15.
- Traitement conservateur de l'otorrhée. *Annales O.-R.-L.*, 1929.
- SPECHT. — Zur physiologie des Hörens. *Archiv. f. Ohrheilkunde*, 1925-26, p. 1 à 80, 12 fig.
- STEFANINI. — Sur le pouvoir de discrimination de l'oreille pour les sons et pour les bruits. *Arch. nation. de biol.*, XI, 57 à 64.
- Perception sonore et conduction sonore vers l'oreille interne. *Arch. ital. di Otol., Rinol. e Laringol.*, 17 H. I.
- Démonstration de la théorie d'Helmholtz-Cotugno. *Arch. ital. di Otol., Rinol. e Laringol.*, 1913, n° 1.
- Sur la fonction des deux oreilles dans l'audition des sons. *Arch. ital. de biol.*, LXVIII, 193-204, 1908; Refer. *Journ. de physiol.*, 1919-1920.
- V. STEIN. — Funktionen des Ohrlabyrinths. Jena, 1894.
- STEPANOW. — Zur frage der Funktion der Kochlea. *Monatsschr. f. Ohrenheilkunde u. Laryngo-Rhinol.*, Bd. 16.
- STRUYKEN. — Beobachtungen über die physiologische obere Hörgrenze für Luft-und Knochenleitung. *Pass. Beitr.*, 5, p. 1.
- TOMINAGA. — Eine neue Theorie des Hörens. *Zentralblatt f. physiol.*, 1924, p. 461-466; Référ. *Journ. physiol.*, 1924.
- TORUKATA. — Sur la physiologie des muscles internes de l'oreille; Refer. *Journ. physiol.*, 1923.
- TREITEL. — Neuere Theorien über die Schalleitung. *Zeitschr. f. Hals Nasen u. Ohrenheilk.*, 41, p. 315.
- TULLIO. — Sulla funzione delle varie parti del labirinto acustico. *Archiv. ital. Otol. Rinol. e Laringol.*, XXV, n° 4, 1924.
- Sul meccanismo d'eccitazione fisiologica delle varie parti dell'orecchio interno. XX° Congrès de la Soc. ital. d'oto-rhino-laryngologie.
- URBANTSCHITSCH. — Über Hyperakusis Willisii. *Verhandl. d. dtsh. Otol. Ges.*, 1912, p. 114.
- Über die Ermüdung des Ohres. *Pflügers Arch. f. d. Ges. Physiol.*, 29.

- URBANTSCHITSCH. — Über das An- und Abklingen akustischen Empfindungen. *Pflügers Arch. f. d. Ges. Physiol.*, 25, p. 323.
- Zur Lehre von der Schallempfindung. *Pflügers Arch. f. d. Ges. Physiol.*, p. 374.
- WAETZMANN. — Über Kombinationstöne. *Pass. Beitr.*, 1, p. 216.
- Zur Frage der Objektivität der Kombinationstöne; Refer. *Internat. Zentralbl. f. Ohrenheilk.*, 5, p. 268.
- Über Differenztöne höherer Ordnung. *Verhandl. d. dtsh. Otol. Ges.*, 1910, p. 62.
- Die akustischen Eigenschaften der Membr. basilar. *Verhandl. d. dtsh. Otol. Ges.*, 1910, p. 56.
- Zur Helmholtzschen Resonanztheorie des Hörens. Braunschweig, 1912.
- WATSUJI. — Über die Verteilung der elastischen Fasern im Gehörorgan. *Zeitschr. f. Hals, Nasen u. Ohrenheilk.*, 47, p. 142.
- WIEN. — Über die Wahrnehmung der Tonstärke. *Pflügers Arch. f. d. Ges. Physiol.*, 1897.
- Über die Messung der Tonstärke. *Wiedem. Ann.* 36, p. 834.
- WINKELMANN. — Handbuch der Physik, Bd. III; Akustik von Auebach.
- WITTMACK. — Über Schädigungen des Gehörs durch Schalleindrücke. *Zeitschr. f. Hals, Nasen u. Ohrenheilk.*, 54, p. 37.
- Eine neue Stütze der Helmholtzschen Resonanztheorie. *Pflügers Arch. f. d. Ges. Physiol.*, 120.
- Zur akustischschädigung des Gehörorgans. *Verhandl. d. dtsh. Otol. Ges.*, 1912, p. 159.
- Über die Beziehungen der Corti-Membran zum Corti-Organ. *Zeitschr. f. Hals, Nasen u. Ohrenheilk.*, 7, p. 424.
- Vergleichender Versuch über Luftschall usw., Bodenschwingung usw. *Arch. f. Ohren, Nasen u. Kehlkopfheilk.*, 102, p. 96.
- WRIGHTSON et KEIT. — Démonstration d'une nouvelle théorie de l'audition. Soc. royale de méd. de Londres, 1919.
- ZANGE. — Über die schallempfindenden Endorgane im inneren Ohr. *Med. Klinik*, 1914, Heft 8.
- ZIMMERMANN (Dresden). — Zur Mechanik des Mittelohres. *Arch. f. Ohren, Nasen u. Kehlkopfheilk.*, 81, p. 229.

ZIMMERMANN (Dresden). — Die Mechanik des Hörens und ihre Störungen, 1900.

— Zur Physiologie der Schallzuleitung. *Verhandl. d. dtsh. Otol. Ges.*, 1906, p. 168.

ZWAARDEMAKER. — Über den Schalldruck im Corti-Organ als den eigentlichen Gehörsreiz. *Arch. f. Anat. u. Physiol.*, 1905, H. 1; Refer. *Internat. Zentralbl. f. Ohrenheilk.*, 4, p. 231.

— Der Verlust an höheren Tönen im Alter. *Arch. f. Ohren, Nasen u. Kehlkopfheilk.*, 32, p. 53.

YOSHITSUNE (WADA). — Contribution à la physiologie comparée de l'organe auditif. *Archiv. Ges. Physiol.*, C. C., II, 1924.

TABLE DES MATIÈRES

	Pages
Introduction...	17
Historique...	19
Technique expérimentale	25
Production des sons.....	25
Technique de la trépanation	35
Physiologie des muscles	42
Muscle du marteau.....	42
Muscle de l'étrier	53
Interprétation des résultats	63
Mouvements des osselets.....	67
Sensibilité de l'oreille	75
Conclusions	77
Bibliographie.....	79

